UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

DIE HOCHFREQUENZSPEKTRA

(*L*-REIHE)

DER ELEMENTE

INAUGURAL-DISSERTATION

DIE MIT GENEHMIGUNG DER MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN SEKTION DER PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT ZU LUND ZUR ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE MITTWOCH DEN 24. MAI 1916 UM 10 UHR V. M. IM AUDITORIUM DES PHYSIKALISCHEN INSTITUTS ÖFFENTLICH VERTEIDIGT WERDEN WIRD

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

VON

EINAR FRIMAN

LIC. PHIL., BL.

LUND
C. W. K. GLEERUP

LEIPZIG
OTTO HARRASSOWITZ

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553402_0039

LUNDS UNIVERSITETS ÅRSSKRIFT. N. F. Avd. 2. Bd 12. Nr 9.
KUNGL. FYSIOGRAFISKA SÄLLSKAPETS HANDLINGAR. N. F. Bd 27. Nr 9.

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

DIE HOCHFREQUENZSPEKTRA

(*L*-REIHE)

DER ELEMENTE

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

VON

EINAR FRIMAN

LUND
C. W. K. GLEERUP

LEIPZIG
OTTO HARRASSOWITZ

Der K. Physiographischen Gesellschaft am 17. mai 1916 vorgelegt.

LUND 1916
HÅKAN OHLSSONS BUCHDRUCKEREI

I.

Geschichtliches.

Durch die epochemachende Entdeckung RÖNTGENS im Jahre 1895 wurde ein neues, fruchtbares Feld der Forschung eröffnet. Die Eigenschaften der neuen Strahlen haben zunächst ausser RÖNTGEN selbst besonders BARKLA [1] eingehend studiert. Letzterer fand, dass Stoffe, die von der Röntgenstrahlung getroffen werden, Strahlen von zwei verschiedenen Typen aussenden. Die eine dieser Strahlungen, die in den allgemeinen Eigenschaften der primären gleicht, wurde als »zerstreute Strahlung» bezeichnet. Der andere Typus dagegen stellt eine vollkommen transformierte Röntgenstrahlung dar und wurde »charakteristische Strahlung» genannt, da sie für die betreffende Substanz charakteristisch ist. BARKLA hat auch die Absorption in Aluminium der charakteristischen Strahlungen einer Zahl von Substanzen untersucht. Als Resultat ergab sich, dass die Strahlung aus zwei Komponenten besteht, einer harteren und einer weicheren, die er mit *K*-, bzw. *L*-Strahlung bezeichnete.

Einen grossen Fortschritt in dem Studium der Röntgenstrahlen stellt die grossartige Entdeckung LAUE'S [2] dar. Dieser kam theoretisch zu dem Schluss, dass die Kristalle als dreidimensionale Gitter den Röntgenstrahlen gegenüber wirken müssen, und die auf seine Anregung hin von FRIEDRICH und KNIPPING [2] angestellten Versuche bestätigten glänzend seine Theorie. Während diese sich auf die Beugung der Röntgenstrahlen bezog, wurde kurz nachher von W. L. BRAGG [3] gezeigt, dass die erhaltenen Interferenzflecken sich ebenso gut durch die Reflexion der Strahlen an den atomreichsten Ebenen des Kristalles erklären lassen. Durch diese Annahme erhielt BRAGG als Ausdruck für die Wellenlänge λ der reflektierten Strahlung die einfache Beziehung

$$n\,\lambda = 2\,d\,.\,\sin\varphi,$$

wo d die Gitterkonstante, d. h. die Entfernung zwischen zwei parallelen reflektierenden Atomebenen ist, φ der Reflexionswinkel und n eine ganze Zahl, welche die Ordnung des Spektrums angibt. Eine Reflexion der Röntgenstrahlen an Kristallen wurde

[1] Zusammenfassender Bericht: Jahrb. d. Radioakt. 8, 471, 1911.
[2] Sitzber. Bayer. Akad., math.-phys. Kl. 303, 1912.
[3] Proc. Cambridge Phil. Soc. 17 (1), 43, 1913.

auch fast gleichzeitig von W. L. Bragg [1] und Barkla und Martyn [2] beobachtet. Auf den Zusammenhang zwischen der Braggschen Reflektionstheorie und der Analysis von Laue hat zuerst Wulff [3] und später Laue [4] hingewiesen.

Da die reflektierte Strahlung sich genügend stark erwies um sowohl photographisch wie elektrisch nachgewiesen zu werden, war hiermit ein Mittel gegeben, die von einem Röntgenrohre ausgehende Strahlung quantitativ zu untersuchen. Die ersten Messungen dieser Art wurden fast gleichzeitig von W. H. und W. L. Bragg [5] und von Moseley und Darwin [6] mit Steinsalzkristall nach der Ionisationsmethode ausgeführt. In beiden Fällen wurde ein Röntgenrohr mit Platinantikathode benutzt. Dies sendet die charakteristische Strahlung des Antikathodenmaterials aus, was Kaye [7] als allgemeine Regel gefunden hat. Durch allmähliches Variieren des Einfallswinkels erhielten die Braggs eine Intensitätskurve, die mit drei Spitzen versehen war, welche drei homogenen Komponenten in der charakteristischen Platinstrahlung entsprechen. Moseley und Darwin, deren Methode empfindlicher war, fanden, dass zwei von den Spitzen in der Tat doppelt waren. Sie geben folgende Werte für die Winkel an:

$$13^0\,31' \quad \underbrace{11^0\,28' \quad 11^0\,17}_{} \quad \underbrace{9^0\,47' \quad 9^0\,29'}_{}$$

Es war indessen unmöglich, die einer Spitze in der Reflexionskurve entsprechende Wellenlänge zu bestimmen, so lange die Gitterkonstante d unbekannt war. Um diese Grösse zu bestimmen wurde von W. L. Bragg [8] ein eingehender Vergleich der Beugungsphotogramme von Steinsalz, Sylvin, Bromnatrium und Jodkalium vorgenommen. Hieraus ergab sich, dass sämtliche diese Salze eine sehr einfache Struktur haben und zwar eine kubische, wobei die verschiedenen Atome abwechselnd in den Ecken von Würfeln gelegen sind. Dies Ergebnis ermöglichte nun das Aufstellen einer Beziehung zwischen d und bekannten Grössen. Durch diese geniale Untersuchung von W. L. Bragg war der Grund einer wirklichen Röntgenspektroskopie gelegt.

Die erste systematische Untersuchung über die Röntgenspektra rührt von Moseley [9] her. Für die Aufnahme der Spektra der schwereren Elemente, die eine kurzwellige Strahlung emittieren, hat er folgende Anordnung benutzt. Die Strahlen passieren zunächst eine unmittelbar vor der Antikathode angebrachte, 0,2 mm breite Platinblende, durchdringen ein Aluminiumfenster von 0,02 mm Dicke, und

---

[1] Nature **90**, 410, 1912.
[2] Nature **90**, 435, 1912.
[3] Phys. Zeitschr. **14**, 217, 1913.
[4] Phys. Zeitschr. **14**, 421, 1913.
[5] Proc. Roy. Soc. (A) **88**, 428, 1913.
[6] Phil. Mag. (6) **26**, 210, 1913.
[7] Phil. Trans. Roy. Soc. (A) 209, 123, 1908.
[8] Proc. Roy. Soc. (A) **84**, 248, 1913.
[9] Phil. Mag. (6) **26**, 1024, 1913.
Phil. Mag. (6) **27**, 703, 1914.

treffen den Kristall aus Ferrocyankalium, der so angebracht ist, dass die Oberfläche des Kristalls die Achse des Spektrometers enthält. Die photographische Platte war auf dem Spektrometerarm befestigt, und die Entfernung derselben von der Drehungsachse gleich dem Abstand Spalt—Drehungsachse (17 cm). Den gesuchten Winkel berechnete Moseley mit Hilfe zweier Referenzlinien, die in bestimmtem Winkelabstand voneinander auf der Platte angebracht wurden. Die Spektra wurden jedesmal in zwei verschiedenen Ordnungen und zwar in der zweiten und dritten photographiert. Zur Auswechslung der Elemente hatte Moseley eine Reihe derselben auf einem kleinen, innerhalb des Rohres angebrachten Schlitten befestigt, der auf Schienen verschoben werden konnte. Diese Anordnung ist zuerst von Kaye[1] benutzt worden.

Die Spektra der leichteren Elemente, deren Strahlung in Luft absorbiert wird, wurden mit einem Vakuumspektrographen aufgenommen. Dieser bestand aus einem starken, runden Eisenkasten, der mit einem luftdicht anschliessenden Deckel versehen war. Auf dem Boden des Kastens waren zwei konzentrische Rillen angebracht. Der Plattenhalter war auf einem kleinen Tisch befestigt, der auf drei Stahlkugeln ruhte, von denen zwei in der äusseren Rille liefen. Der Kristalltisch war in ähnlicher Weise über der inneren Rille plaziert. Zur Messung der Winkel waren zwei Kreisskalen etwas ausserhalb der Rillen plaziert, während die Tische mit Nonien versehen waren. Die Kassette war mit dünnem Seidenpapier bedeckt. Ein kreisförmiges, 2 cm breites Fenster aus Goldschlägerhaut trennte das Röntgenrohr von dem Spektographen.

Moseley untersuchte nach diesen Methoden die *K*-Reihe von 21 Elementen (*Al* bis *Ag*) und die *L*-Reihe von 24 Elementen (*Zr* bis *Au*). Seine Messungsresultate für die *L*-Reihe sind in der Tabelle 1 angegeben. Diese enthält die Wellenlängen von vier Liniengruppen α, β, φ und γ. Ausserdem gibt er an, Andeutungen von noch zwei Liniengruppen, δ und ε, ebenso wie einen schwachen α-Satelliten gefunden zu haben, ohne jedoch Zahlenwerte dafür anzuführen.

Die erhaltenen Zahlenwerte ergaben für die α-Gruppen eine approximativ lineare Beziehung zwischen den Wurzeln aus den Frequenzen und den Ordnungszahlen N der entsprechenden Elemente. Diese Beziehung war von der Form

$$\sqrt{\nu} = a\,(N - N_0),$$

wobei a eine Funktion der Rydbergschen Konstante und N_0 eine Konstante, bei der *L*-Reihe nahe gleich 7,4, darstellt. Mit Hilfe dieser Formel konnte Moseley behaupten, dass in dem Bereiche zwischen Aluminium und Gold nur drei unentdeckte Elemente mit den Ordnungszahlen 43, 61 und 75 ($Al = 13$) sich finden.

Von de Broglie[2] wurde eine wesentliche Verbesserung eingeführt, indem er den Kristall langsam rotieren liess. Hierdurch fällt der Einfluss etwa vorhan-

[1] Kaye, l. c.
[2] C. R. **157**, 924, 1913.

dener Unregelmässigkeiten der Kristallstruktur weg, da eine grössere Fläche des Kristalls ausgenutzt wird. Der Vorteil dieser Anordnung ist später von Rutherford und Andrade [1] und Wagner [2] hervorgehoben worden. Die de Broglie'schen Aufnahmen der *L*-Reihe sind teilweise nach der weniger genauen Sekundärstrahlungsmethode ausgeführt. Nach der primären Methode hat er Platin, Wolfram [3] und Gold [4] aufgenommen. Während bei Gold nur zwei Linien erhalten wurden, konnte bei den zwei übrigen Elementen eine Mehrzahl von Linien gemessen werden.

TAB. 1.

L-Reihe nach Moseley.

Nr	Element	$\lambda \cdot 10^8$ cm			
		α	β	φ	γ
40	Zirkon	6,091	—	—	—
41	Niob	5,749	5,507	—	—
42	Molybdän	5,423	5,187	—	—
44	Ruthenium	4,861	4,660	—	—
45	Rhodium	4,622	—	—	—
46	Palladium	4,385	4,168	—	3,928
47	Silber	4,170	—	—	—
50	Zinn	3,619	—	—	—
51	Antimon	3,458	3,245	—	—
57	Lanthan	2,676	2,471	2,424	2,313
58	Cer	2,567	2,360	2,315	2,209
59	Praseodym	(2,471)	2,265	—	—
60	Neodym	2,382	2,175	—	—
62	Samarium	2,208	2,008	1,972	1,893
63	Europium	2.130	1,925	1,888	1,814
64	Gadolinium	2,057	1,853	1,818	—
66	Holmium	1,914	1,711	—	—
68	Erbium	1,790	1,591	1,563	—
73	Tantal	1,525	1,330	—	1,287
74	Wolfram	1,486	—	—	—
76	Osmium	1,397	1,201	—	1,172
77	Iridium	1,354	1,155	—	1,138
78	Platin	1,316	1,121	—	1,104
79	Gold	1,287	1,092	—	1,078

Das Platinspektrum ist auch von Wagner [5] photographiert worden. Die von ihm reproduzierten Spektogramme, die sehr scharf sind, enthalten ausser einigen Iridiumlinien sämtliche die von Siegbahn und mir bei Platin gefundenen charakteristischen Linien. Er gibt doch keine genaue Zahlenwerte derselben an.

Das Spektrum des Wolframs ist von Barnes [6] und neulich von Gorton [7] mit

[1] Phil. Mag. (6) **27**, 854, 1914.
[2] Phys. Zeitschr. **16**, 30, 1915.
[3] C. R. **158**, 177, 1914.
[4] C. R. **158**, 623, 1914.
[5] E. Wagner, l. c.
[6] Phil. Mag. (6) **30**, 368, 1915.
[7] Phys. Rev. **7**, 203, 1916.

technischen Röhren untersucht worden. Gorton findet 10 Linien, deren Winkelwerte mit den de Broglie'schen gut übereinstimmen, sich aber um 1 bis 2 % von den Barnes'schen unterscheiden. Diese Disskrepance wird von Gorton, dessen Werte eine Genauigkeit von 0,2 % haben, durch mangelnde Fokusierung in der Barnesschen Anordnung erklärt.

Weitere systematische Untersuchungen nach der photographischen Methode sind von Siegbahn, [1] Malmer [2], Siegbahn und Friman [3] und Siegbahn und Stenström [4] ausgeführt worden. Diese Arbeiten beziehen sich sämtlich auf die *K*-Reihe.

Die vorliegende Arbeit stellt eine möglichst vollständige Untersuchung der Hochfrequenzspektra (*L*-Reihe) der Elemente Uran bis Zink (48 Stoffe) dar. Die Spektrogramme der Elemente Uran bis Tantal sind mit einem besonders konstruierten Röntgenspektrometer aufgenommen. Diese Untersuchung habe ich in Gemeinschaft mit Herrn Privatdozent Dr. M. Siegbahn ausgeführt. Die Resultate derselben sind teils in der Physikalischen Zeitschrift und in Philosophical Magazine, teils in den Annalen der Physik 1916 veröffentlicht worden. Von Tantal ab habe ich mit einem Vakuumspektrographen gearbeitet. Die Konstruktion des Spektrographen und eine mit demselben ausgeführte Untersuchung der $L\alpha$-Linien der seltenen Erden ist von Siegbahn und mir in der Physikalischen Zeitschrift 1916 beschrieben worden.

---

[1] Ark. f. Mat., Astr. o. Fys. B. **10**, H. 3, Nr 17, 1915.
[2] Diss. Lund, 1915.
[3] Ann. d. Phys. **49**, 611, 1916.
[4] Phys. Zeitschr. **17**, 48, 1916.

II.

1. Prinzip der Methode.

Das Prinzip der Methode geht aus der schematischen Figur 1 hervor. Die von der Antikathode A ausgehenden Röntgenstrahlen passieren zwei Bleiblenden B_1 und B_2, von denen die erste eine sehr schmale Öffnung hat, während die zweite Öffnung verhältnismässig breit ist. Das entstandene kegelförmige Bündel trifft den

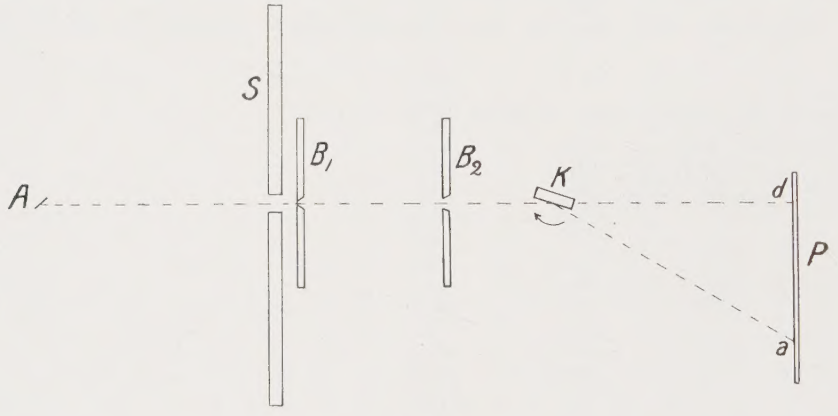


Fig. 1.

rotierenden Kristall K, der als Reflexionsgitter wirkt. Wenn also die charakteristische Strahlung des Antikathodenmaterials einen homogenen Komponenten von der Wellenlänge λ enthält, wird derselbe bei einem gewissen Einfallswinkel φ, der mit λ durch die Braggsche Beziehung verbunden ist, geometrisch reflektiert. Die so reflektierte Strahlung gibt in einer Entfernung $K\alpha = KB_1$ ein scharfes Bild von dem ersten Spalt. Auf einer durch α gehenden photographischen Platte erhält man also eine feine Linie [1]. Die Drehung des Kristalls hat zur Folge, dass ein grosses Gebiet der Kristallfläche die betreffende Strahlung reflektiert. Hierdurch kommen etwaige Unregelmässigkeiten in der Kristallstruktur weniger zur Geltung, so dass bei gleichmässiger Drehung die Linien mit der richtigen Intensitätsverteilung auftreten.

[1] Der Vorteil der Fokusierung, welche beim rotierenden Kristall für das Erhalten scharfer Linien notwendig ist, wurde zuerst von den BRAGGS hervorgehoben.

Für die Berechnung des Reflexionswinkels φ, *d. h.* des Winkels zwischen dem reflektierten Strahl und der Atomebene des Kristalls, wurde in den Spektrometerversuchen bei feinem zweiten Spalt und zur Seite geführtem Kristalle eine sog. direkte Linie *d* aufgenommen. Da die Platte senkrecht zur Verbindungslinie Spaltmitten-Kristalldrehungsachse eingestellt ist, ergibt sich φ aus der Beziehung $tg\, 2\varphi = \frac{a}{r}$, wenn *a* und *r* die aufgemessenen Abstände αd und Kd darstellen. Bei den Versuchen mit dem Vakuumspektrographen wurde statt der direkten Linie die $Cu\alpha_1$-Linie als Referenzlinie benutzt. Nachdem φ bestimmt worden ist, wird λ aus der Braggschen Formel $n\lambda = 2d \,.\, \sin\varphi$ erhalten.

2. Beschreibung der Apparatur.

a. **Röntgenspektrometer.**

Die benutzte Spektrometeranordnung ist in der Fig. 2 zu sehen. Die zwei Blenden, das Uhrwerk (demontiertes Heliostat) mit dem Kristall und der Plattenhalter sind auf einer mit drei Stellschrauben versehenen Marmorplatte montiert.

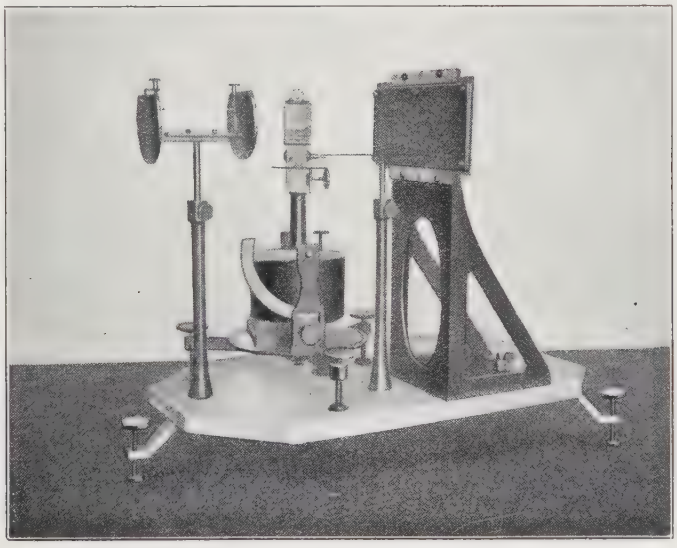


Fig. 2.

Die Bleiblenden sind 4 mm dick und etwa 10 cm von einander entfernt. Jede Spaltöffnung kann mit Hilfe einer Schraube, die zwei bewegliche Bleistücke nach der Seite verschiebt, beliebig variiert werden. Die Schraube der vorderen Blende ist mit einer gradierten Kreisscheibe versehen, welche es ermöglicht, die Spaltbreite auf Hundertstel Millimeter einzustellen. Da einerseits für ein gutes Auflösungsvermögen eine möglichst smale Spaltöffnung wünschenswert ist, anderseits die Intensität

des durchgehenden Bündels nicht zu stark herabgesetzt werden darf, muss man eine passende Spaltbreite ausprobieren. Als geeignet wurde 0,1 mm gefunden, und diese Breite ist auch während sämtlicher Messungen benutzt worden. Die andere Spaltöffnung wurde im allgemeinen bei 2 bis 3 mm gehalten. Nur bei der Aufnahme der sog. direkten Linie kam eine feine zweite Spaltöffnung zur Verwendung. Die Vertikaleinstellung der Spalte wurde mit Wasserpass ausgeführt.

Das Uhrwerk, das auf drei Stellschrauben ruht, ist so eingestellt, dass ihre Achse genau vertikal steht. Auf der drehbaren Achse ist eine horizontale Scheibe fest angebracht, die eine zweite Scheibe trägt, welche sich um eine horizontale Achse drehen lässt. Die Drehung wird mittels einer vertikalen Schraube ausgeführt. Der Kristall ist an einer senkrecht zur zweiten Scheibe angebrachten Platte festgekittet, welche mit Hilfe einer Schraube hin und her verschoben werden kann. Der Kristall muss so eingestellt sein, dass die Drehungsachse durch die Oberfläche des Kristalles geht. Diese Einstellung wurde mit Fernrohr, Spiegel und Skala folgendermassen ausgeführt. Zunächst wurde ein kleiner Spiegel leicht an die Oberfläche des Kristalles gedrückt, und dann wurde die vertikale Schraube gedreht, bis bei Umlegung des Kristalltisches um 180° derselbe Skalenstrich in dem Fernrohr zu sehen war. Hierdurch wurde die Oberfläche parallel der Drehungsachse gebracht. Das Zusammenfallen derselben wurde darnach durch Drehen der anderen Schraube erreicht, bis der Rand der Oberfläche bei Umlegung des Kristalles um 180° sich nicht gegen das Fadenkreuz verschob. Die Kristalldrehungsachse musste weiter in die Verlängerung der Spaltmitten fallen. Dies wurde optisch einjustiert, indem eine starke Einfadenlampe vor dem ersten Spalt angebracht und das Uhrwerk verschoben wurde, bis der Kristall auf beiden Seiten gleich stark reflektierte Bilder gab. Mit der Drehungsachse ist ein Zeiger fest verbunden. Dieser läuft über eine Skala, die den Drehungsvinkel des Kristalles angibt. Die Bestimmung des Nullpunktes geschah optisch. Die Füsse der Stellschrauben wurden nach der Einstellung des Kristalles an der Platte festgekittet. Bei der Aufnahme der direkten Linie wurde eine dünne Holzscheibe unter die eine Stellschraube gesteckt und der Kristall dadurch zur Seite geführt.

Der eiserne Plattenhalter hat einen planen, rektangularen Fuss, dessen Mitte mit einer länglichen Öffnung versehen ist. Durch diese gehen zwei Schrauben, die mit Hilfe von Muttern den Fuss an der Marmorplatte festhalten. Hierdurch kann man den Plattenhalter dem Kristall nähern *bzw* entfernen, was für die Fokusierung verschiedener Gebiete der photographischen Platte notwendig ist. Die Kassette wird zwischen zwei an der vertikalen Scheibe angebrachte Listen eingeführt. Sie besteht aus einem Metallrahmen, in welchen die photographische Platte (Grösse 6,5 . 18 cm) genau passt, und einem Deckel, der mit einer 17 cm langen und 2,5 cm breiten mit schwarzem Papier bedeckten Öffnung versehen ist. Der Deckel wird mit sechs Schrauben und Muttern an den Rahmen befestigt. Die Einstellung der Platte senkrecht zur Linie Spaltmitten—Kristalldrehungsachse geschah nach einer optischen Methode. Zu diesem Zwecke wurde ein Spiegel auf dem Boden des Rahmens ange-

bracht und die Einfadenlampe vor dem ersten Spalt placiert. Bei feinem zweiten Spalte und zur Seite geführtem Kristalle wurde das durchgehende scharfe Lichtbündel von dem Spiegel reflektiert und auf die zweite Blende zurückgeworfen. Der Plattenhalter wurde dann gedreht, bis das reflektierte Bündel mit dem direkten koinzidierte.

Der Einfluss der zerstreuten Strahlung wurde durch einen vom Kristall bis zur Platte sich erstreckenden Bleischutz, welcher auf die in der Figur ersichtlichen Stative angebracht wurde, völlig heruntergedrückt.

b. **Vakuumspektrograph.**

Die Konstruktion des Vakuumspektrographen ist in der Fig. 3 in sowohl Vertikal- wie Horizontalschnitt dargestellt. Eine photographische Aufnahme desselben ist in der Fig. 4 zu sehen.

Der Spektrograph besteht aus einem runden, 5 mm dicken Messingkasten *AA*, der 8 cm hoch ist und einen inneren Durchmesser von 30 cm hat. Der obere, 3,5 cm breite Rand *BB* ist sorgfältig plan geschliffen, ebenso der entsprechende Teil *CC* des Deckels *D*, welcher nach Anfetten luftdicht an dem Kasten schliesst. Der Deckel ist wie auch der Boden mit radialen Verstärkungen versehen um den Druck besser aushalten zu können. Durch den Rand des Deckels geht eine Schraube, welche dazu dient den Deckel nach dem Einlassen der Luft zu heben. Den Kasten tragen drei Stellschrauben. Durch die Mitte des Bodens läuft ein 4 cm langer konischer Schliff *E*, auf dem der Kristalltisch angebracht ist. Dieser besteht aus einem Schlitten *F*, der mit Hilfe der Schraube *H* verschoben werden kann. Auf dem Schlitten findet sich der eigentliche Tisch *N*, der sich durch die Schraube *h* am die Achse *a* drehen lässt. Der Kristall *K* ist auf dem Tisch mittels einer Bügel und zweier Schrauben befestigt. Durch diese Anordnung kann der Kristall sehr genau einjustiert werden. Dies geschieht teils mit Hilfe der Einfadenlampe teils mit einem Mikroskop, das auf der Mitte des Randes der reflektierenden Fläche eingestellt wird. Bei richtiger Einstellung des Kristalles dreht sich die Randlinie bei Umlegung desselben um 180^0 um einen festen Punkt. Die Vertikaleinstellung der reflektierenden Fläche wurde nachher durch beiderseitige Aufnahme der $K\alpha$-Linien des Silbers justiert.

Der Konus *E*, der mit Fett geschmiert ist, wird mit Hilfe eines an dem Boden des Kastens festgeschraubten Ringes in dem Schliff festgehalten. Der untere Teil des Konus ist mit einem etwa 20 cm langen Messingarm *M* fest verbunden, welcher mit einem Zeiger *Z* versehen ist. Dieser läuft die Skala *S* entlang, die den Drehungswinkel des Kristalles in Viertelgraden angibt. Der Messingarm wird durch eine Stahlfeder gegen den Rand einer Exzenterscheibe gedrückt, welche von einem kleinen Motor gedreht wird, dessen Geschwindigkeit durch Zahnradüberführung stark herabgesetzt worden ist.

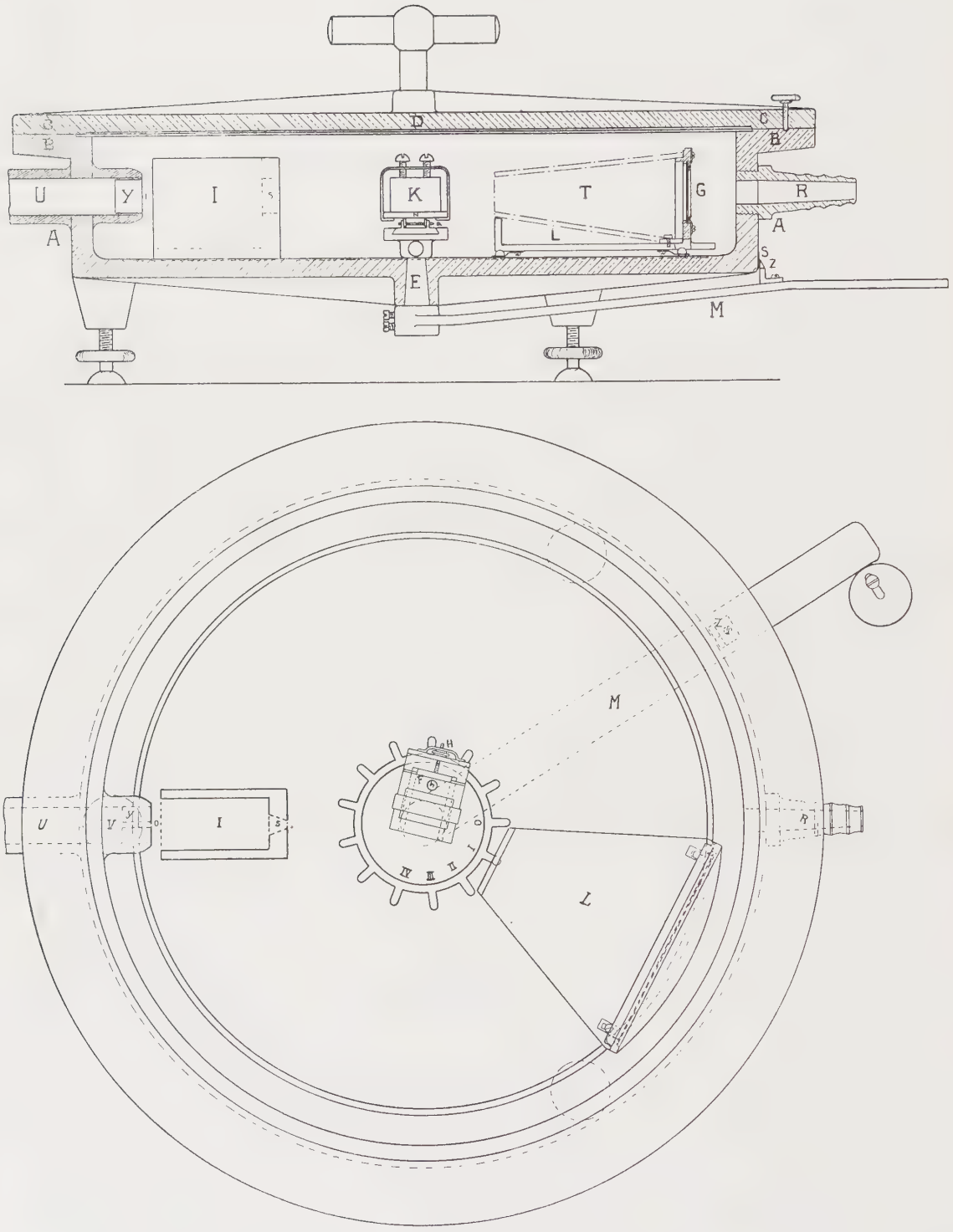


Fig. 3.

Durch die Wand des Kastens gehen zwei einander gegenüberliegende Rohre *R* und *U*. Das erstere steht durch einen Schlauch in Verbindung mit der Vorpumpe. In dem letzteren steckt ein anderes Rohr *V*. Das eine Ende desselben ist mit einer plangeschliffenen Messingscheibe *l* bedeckt, welche mit einem 0,1 mm feinen, goldgeränderten Spalte *o* versehen ist. Dies Rohr wurde mit Pizein luftdicht an der Wand befestigt, nachdem der Spalt genau vertikal eingestellt worden war. Diese Einstellung geschah optisch durch Vergleich mit einem vertikal hängenden Draht. Zwischen dem Spalt und dem Kristall ist eine Bleiblende *I* mit etwa 2 mm breiter Öffnungs angebracht, und in das Rohr *V* ist ein 1,5 cm langer Bleizylinder *Y* mit 1 mm breitem Spalte eingeführt.

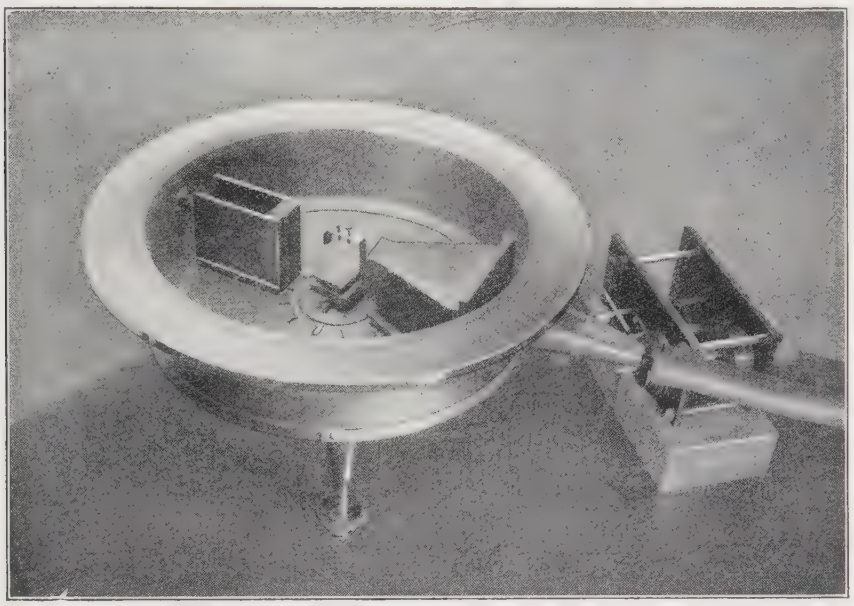


Fig. 4.

Die photographische Platte wird in der Kassette *G* angebracht. In diesem Falle wird die Platte von hinten eingeführt und mit Hilfe dreier Stahlfedern von dem Deckel gegen den Innenrand gepresst. Die Kassette ist mittels zwei Schrauben, welche durch die beiden Füsse derselben gehen, mit dem Schlitten *L* fest verbunden. Die Füsse sind mit länglichen Löchern versehen, wodurch die Kassette etwas verschoben bzw. gedreht werden kann. Diese Anordnung ermöglicht es, die Platte bei der Schlittenlage 0 (siehe unten) senkrecht gegen die Linie Spalt—Kristalldrehungsachse einzustellen. Bei dieser Einstellung wurde der Kristall durch einen schmalen Spalt ersetzt, deren Mitte mit der Achse zusammenfiel. Übrigens wurde wie im Falle des Röntgenspektrometers verfahren. Der Abstand Kristall—Platte wurde bei der Einstellung gleich die Entfernung erster Spalt—Kristall (etwa 12,4 cm) gemacht (siehe weiter unten). Um die Platte gegen zerstreute Strahlung möglichst zu schützen

hat es sich auch in diesem Falle gut bewährt, einen bis zum Kristall gehenden Bleischutz T an der Kassette anzubringen.

Der Schlitten L wird von drei Stahlkugeln getragen, von denen zwei in einer kreisförmigen Ausbohrung ruhen, während die dritte in einer radial gehenden Vertiefung steckt. Auch im Boden des Schlittens finden sich runde Vertiefungen für die Kugeln, welche durch drei Stahlfedern gehalten werden. Der Schlitten kann in dieser Weise einige ganz bestimmte Lagen einnehmen, von denen die bei den Versuchen benutzten mit 0 bis IV bezeichnet worden sind. Die Zahl der radial gehenden Ausbohrungen beträgt dreizehn, die in ungefähr gleicher Winkelentfernung von einander liegen. Von diesen wurden die vier den Lagen 0 bis IV entsprechenden sehr sorgfältig bestimmt. Dies geschah mit Hilfe eines Spektrometers (ohne Kollimator), dessen Fernrohr mit einem Gauss'schen Okular versehen war, und einer langen planen Glasscheibe, die auf dem Schlitten fest angebracht war. Das Fernrohr wurde jedesmal so eingestellt, dass das reflektierte Bild des Fadenkreuzes mit dem direkten koinzidierte. Der Winkel zwischen zwei Lagen ergab sich dann direkt aus der Drehung des Fernrohrs.

Für die betreffenden Winkel wurden folgende Werte [1] erhalten:

0—I	$27^0\,30,'8$
I—II	$27^0\,40,'8$
II—III	$27^0\,39,'2$
III—IV	$27^0\,44,'9$

Der Vorteil dieser Konstruktion eines Vakuumspektrographen gegenüber der Moseleyschen liegt erstens darin, dass der Kristall beweglich ist, wodurch Unebenheiten in der Kristallstruktur die Intensitätsverteilung nicht beeinflussen. Zweitens ist in diesem Falle der erste Spalt feiner und die Fokusierung besser, was ein erhöhtes Auflösungsvermögen bewirkt.

c. **Röntgenrohr und übrige Apparate.**

Das bei den Untersuchungen benutzte Röntgenrohr hatte die in der Figur 5 dargestellte Form. Dies Rohr (Durchm. 20 cm.) ist von der Firma Gundelach-Gehlberg bezogen und hat sich während früheren Untersuchungen (Siegbahn, Malmer) bestens bewährt. K ist die Kathode und A die Antikathode. Diese besteht aus einer dicken Kupferplatte, die schräg an der Ende eines Messingrohres angelötet ist. Das Messingrohr geht durch einen Glasschliff und ist an demselben mittels Pizein, das auswendig angebracht wurde, luftdicht befestigt [2]. Am anderen Ende des Messingrohres sind zwei schmale Röhren angelötet, durch die das Kühlwasser strömt. Der gegenüber der Antikathode befindliche ausgezogene Teil des Rohres

[1] Jeder Wert ist das Mittel aus mehreren Beobachtungen.

[2] Hierdurch konnte bei dauerhafter Kühlung das Rohr ohne Unterbrechung stundenlang in Betrieb gehalten werden, ohne dass das Pizein zu weich wurde (vgl. Malmer).

war im Falle des Spektrometers durch ein Aluminiumfenster von 0,05 mm Dicke verschlossen. Die Entfernung des Fensters von der Antikathode betrug hierbei 17 cm. Bei den Versuchen mit dem Spektrographen, in welchen ein neues, ganz ähnliches Rohr benutzt wurde, war der ausgezogene Teil in das Rohr *U* eingeführt und mit Pizein an demselben befestigt, wodurch eine luftdichte, elastische Verbindung erreicht wurde. In beiden Fällen war das Rohr von dem Spektralapparat durch einen etwa 2 cm dicken Bleischirm getrennt.

Die Einstellung des Rohres geschah bei dem Spektrometer mit Hilfe eines fluoreszierenden Schirmes, der zwischen den beiden Blenden angebracht wurde. Bei dem Spektrographen wurde eine optische Methode benutzt, indem die Einfadenlampe vor das Rohr *R* gestellt und der Apparat gedreht wurde, bis das durch den

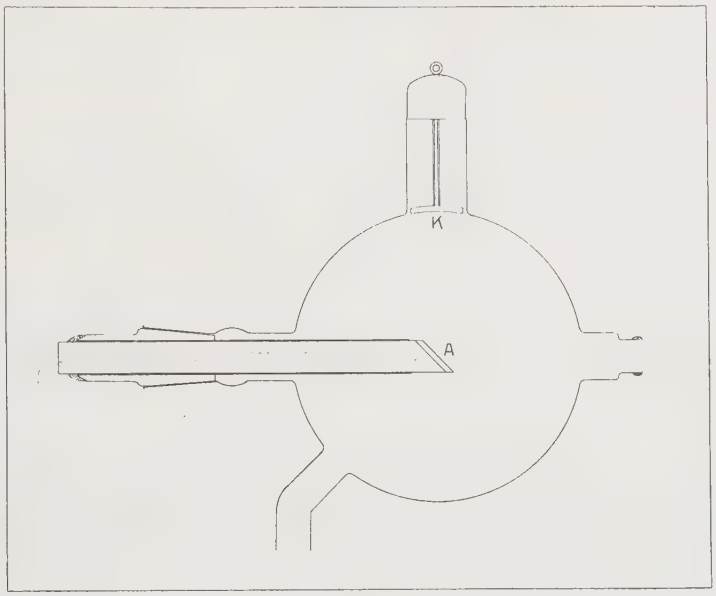


Fig. 5.

Spalt *o* hindurchgehende Lichtbündel auf den Brennfleck fiel. Die Richtigkeit der Einstellung wurde dann nach Auspumpen des Röntgenrohres mit dem fluoreszierenden Schirm geprüft.

Der Vorteil des angewandten Rohres besteht darin, dass die Antikathode sich leicht ausnehmen lässt, wodurch das Anbringen eines neuen Elements in wenigen Minuten erfolgen kann. Bei systematischen Untersuchungen über die Hochfrequenzspektra der Elemente ist diese Anordnung sehr vorzuziehen gegenüber die früher benutzten (Kaye, Moseley).

Das Röntgenrohr wurde mit Hilfe einer Molekularpumpe nebst zugehöriger Vorpumpe evakuiert. Im Falle des Vakuumspektrographen wurde die Vorpumpe durch eine Zweigleitung gleichzeitig mit dem Röntgenrohr und dem Spektrographen verbunden. Diese waren entweder durch eine sehr dünne Aluminiumfolie (0,001 mm) oder durch Goldschlägerhaut getrennt, welche auf die angefettete Platte *l* aufgelegt

wurden. In dieser Weise liess sich Röntgenvakuum in wenigen Minuten herstellen. Zum Konstanthalten desselben wurde in beiden Fällen ein besonders konstruiertes Ventil (Fig. 6) unmittelbar nach der Vorpumpe eingeschaltet. Das Ventil besteht

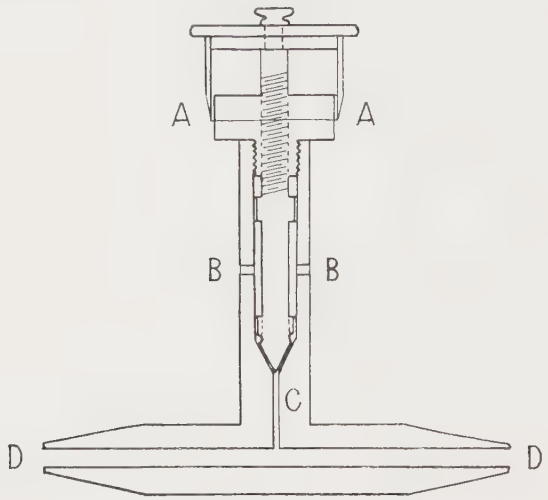


Fig. 6.

aus einem sorgfältig geschliffenen Konus *C*, der mikrometrisch (*AA*) justierbar ist. Bei dem Aufmachen desselben strömt Luft konstant durch die Löcher *BB* und die konische Öffnung. Das Feinregulieren des Vakuums liess sich nachher durch Änderung des Widerstands des Motors erreichen.

Fig. 7.

Bei den ersten Versuchen wurde ein grosser Induktor (Funkenlänge 50 cm.) benutzt, während bei den Spektrographuntersuchungen ein kleinerer (25 cm Funkenlänge) zur Verwendung kam. Beide waren von dem System Klingelfuss, Basel. Als Unterbrecher wurde ein »Rotax» angewandt, welcher bis zu 8,000 Unterbrechungen pro Min. leisten konnte. Als Gleichrichter diente anfangs ein dreifaches Ventilrohr, später eine zehnfache Spitz-Platte-Funkenstrecke. Der eine Pol des Induktoriums und die Antikathode waren geerdet, während der zweite Pol über den Gleichrichter mit der Kathode verbunden war. Die Stromstärke der Primärleitung betrug 5 bis 7 Amp.

Eine Aufnahme der ganzen Apparatur ist in der Fig. 7 zu sehen.

3. Untersuchte Substanzen und deren Anbringung an der Antikathode.

Die 48 untersuchten Elemente kamen in folgender Form zur Verwendung. *Au*, *Pt*, *Cd*, *Ag*, *Pd* und *Zn* wurden als Bleche an der Antikathode angelötet. *Sn* wurde direkt, *Bi*, *Pb* und *Tl* an der zuerst verzinnten Antikathode angeschmolzen. *Ta*, der als dünner Draht zur Verfügung stand, wurde um ein dünnes, teilweise an der Antikathode angelötetes Kupferblech gewickelt. *Ir*, *In* und *Ru* wurden in einer Kupferzange festgeklemmt. *Po* kam als elektrolytischer Niederschlag auf einem Kupferblech zur Untersuchung. Sämtliche übrige Elemente sind in Pulverform entweder frei (*W*, *Te* und *Mo*) oder als Verbindungen benutzt worden, und zwar *U*, *Th*, *Sb* und *As* als Oxyde, *Ra* als Bromid, *Hg* als Sulfid, *Os* als osmiumsaures Kali, *Cp*, *Ad*, *Er*, *Ho*, *Dy*, *Gd*, *Sa*, *Nd*, *Ba*, *Zr* als Sulfate, *Tb*, *Eu*, *Y* und *La* als Nitrate, *Pr*, *Ce*, *Cs*, *Rh*, *Sr*, *Rb* als Chloride, *Nb* als Fluorid, *J* als Jodkalium und *Br* als Bromkalium. Mit Ausnahme der alkalischen Erden (*Cp* bis *Nd*), die freundlichst von Herrn Dr. Freiherrn Auer von Welsbach zur Verfügung gestellt wurden, waren die meisten der Substanzen von den Firmas Kahlbaum-Berlin oder Merck-Darmstadt bezogen.

Für das Anbringen der pulverförmigen Stoffe hat sich folgende Methode gut bewährt. Die Antikathode wird zunächst mit einer Feile oder noch besser mit Hilfe von Messer und Hammer mit feinen Ritzen versehen. Das feinpulverisierte Salz wird dann mit dem Messer hart angerieben, wobei die Salzkörner in den Ritzen sitzen bleiben. Es genügte im allgemeinen eine minimale Menge (einige *mgr*) des in dieser Weise angebrachten Salzes zur Aufnahme eines Spektrogramms.

Die Antikathode wurde nach jeder Aufnahme sorgfältig rein gefeilt. Bei den seltenen Erden wurde für jedes Element eine kleine Kupferplatte angelötet, an der das Salz angebracht wurde. Hierdurch liess sich die Reinheit der Salze sehr genau prüfen.

4. Ausführung der Versuche.

Bei dem Röntgenspektrometer wurde zunächst der Plattenhalter so eingestellt, dass etwa die Mitte des zu untersuchenden Gebietes fokusiert war. Die Entfernung erster Spalt—Kristall betrug hierbei 13 cm (bei *U* und *Th* 17 cm). Nachdem das betreffende Element an der Antikathode angebracht worden war, wurde die direkte Linie bei feinem zweiten Spalt und zur Seite geführtem Kristall aufgenommen. Dann wurde der Kristall (aus Steinsalz) wieder in die richtige Lage gebracht, der zweite Spalt geöffnet und das Uhrwerk in Gang gesetzt. Das zu untersuchende Winkelgebiet wurde im allgemeinen 5 bis 7 mal (bei *U*, *Th* und *Hg* 10 mal) übergangen. Da der Kristall mit einer Geschwindigkeit von 1° in 4 Min. sich drehte und ein Gebiet von 5° überfahren wurde, betrug also die Expositionszeit etwa 2 Stunden. Die photographische Platte war während der Exposition im Bereiche der direkten Linie mit einer 2 mm dicken Bleiplatte bedeckt, welche das Auftreten einer breiten diffusen direkten Linie verhinderte. Bei sämtlichen Aufnahmen kamen Lumière Platten (Sensibilité Extrême) zur Verwendung, welche mit Methol—Hydrochinon entwickelt wurden.

Zur Bestimmung des Abstandes (r) Kristall –Platte wurde die Entfernung von der Kristalldrehungsachse bis zum Boden der Kassette gemessen und die Dicke der Platte davon subtrahiert. Die Entfernung (a) der Spektrallinien von der Mitte der direkten Linie wurde mit Millimeterstab auf ein Zehntels Millimeter gemessen. Den hieraus berechneten Winkelwerten kann eine Genauigkeit von etwa 0,3 % zugeschrieben werden.

Bei dem Spektrographen war der Abstand Kristall—Platte in allen Fällen derselbe und wurde so gewählt, dass die Mitte der Platte fokusiert war. Um den betreffenden Abstand genau zu ermitteln wurde mit Hilfe einer fest angebrachten Stahlspitze der Kristalltisch mit mehreren konzentrischen Kreisen versehen. Die Enden der Durchmesser wurden dann auf einer langen, senkrecht zur Platte gestellten Glasscheibe mit feinen Ritzen markiert und die Abstände vom Rande (o) der Glasscheibe bis zu den Ritzen mit Komparator gemessen. Da diese Entfernungen zu gross waren um direkt ausgemessen zu werden, musste hierbei eine Referenzlinie (l) benutzt werden. Die Messung gab folgende Werte:

o	20,44	74,90 mm			
l	95,35				
l	22,56	0,00 mm			
1	67,56	45,00			
2	69,25	46,69			
3	70,02	47,46	48,88	48,88	48,87 mm
3′	72,84	50,28			
2′	73,62	51,06			
1′	75,31	52,75			

Der Abstand von der Referenzlinie bis zum Mittpunkt der Ritze ist also im Mittel 48,88 mm und die Entfernung Kristall—Platte folglich 123,78 mm.

Zur genauen Bestimmung der Winkelwerte der Spektrallinien wurde in diesem Falle die $Cu\alpha_1$-Linie als Referenzlinie benutzt. Dieselbe konnte bei Steinsalz als Reflektor in der Lage I in erster und in den Lagen II und III in zweiter Ordnung aufgenommen werden. Die Entfernung dieser Linie von dem Fusspunkt [1] der von der Kristalldrehungsachse auf die Platte gehende Normale wurde mit Benutzung des von Siegbahn und Stenström [2] sehr genau bestimmten Wertes für die Wellenlänge, $\lambda = 1{,}539$, berechnet. Diese Rechnung gab folgende Werte:

Lage I	$Cu\alpha_1$	9,17 mm
Lage II	$(Cu\alpha_1)_2$	24,32 »
Lage III	$(Cu\alpha_1)_2$	— 36,75 »

Für die Winkel zwischen dem Nullpunkt der verschiedenen Lagen und demjenigen der Lage 0 sing folgende Werte benutzt worden (vgl. S. 14):

0—I	27° 30,′8;
0—II	55° 11,′6;
0—III	82° 50,′8;
0—IV	110° 35,′7.

Zur Kontrolle dieser Werte wurde (nach der Aufnahme einer Zahl von Elementen) die $Cu\alpha_1$-Linie in den Lagen I bis IV auf einer und derselben Platte photographiert. Die den Linien entsprechenden Winkel wurden hierbei mit Hilfe eines feinen Ritzes, der längs des Innenrandes der Kassette mit einem Messer gezogen worden war, ermittelt. Die Entfernung einer genau in derselben Weise gezogenen Linie vom Nullpunkt der Platte war schon früher durch beiderseitige Aufnahme der $K\alpha$-Linien des Silbers bestimmt worden, und zwar hatte sich hierfür der Wert 43,76 mm ergeben. Der Versuch gab folgende Werte, welche unten mit den mit Hilfe des Wertes $\lambda = 1{,}539$ berechneten zusammengestellt sind. Die Übereinstimmung ist wie ersichtlich sehr gut.

		Exp.	Ber.
Lage I	$(Cu\alpha_1)_1$	15° 54,′2	15° 52,′5
Lage II	$(Cu\alpha_1)_2$	33° 8,′9	33° 9,′3
Lage III	$(Cu\alpha_1)_2$	33° 12,′4	33° 9,′3
Lage IV	$(Cu\alpha_1)_3$	55° 5,′8	55° 7,′3

Mit dem Steinsalzkristall wurden die Spektra der Elemente Tantal bis Palladium aufgenommen. Ein weiteres Vordringen mit diesem Kristalle war nicht möglich, da die Intensität der reflektierten Strahlung bei grösseren Winkeln stark abnimmt und die Linien diffus werden. Die weiteren Versuche sind daher mit einem Gipskristall ausgeführt worden. Die Gitterkonstante desselben wurde in folgender Weise

[1] Dieser wird im Folgenden der Nullpunkt der Platte genannt. Die Entfernung der bei kleinerem Winkel gelegenen Linien vom Nullpunkt wird mit negativem Vorzeichen angegeben.

[2] Siegbahn u. Stenström l. c.

ermittelt. Zunächst wurde in Lage I das Silberspektrum und die $Cu\alpha_1$-Linie (zweiter Ordnung) aufgenommen. Auf derselben Platte war auch ein mit Messer gezogener Ritz (vgl. oben) gemacht. Mit Hilfe desselben ($a = -43{,}76$ mm) konnten nun die a-Werte für $(Cu\alpha_1)_2$ und $Ag\alpha_1$ bestimmt werden. Diese wurden zu $-9{,}16$ mm *bzw* 8,83 mm gefunden. Da die Wellenlängen der beiden Linien schon bekannt waren (für $Ag\alpha_1$ nach der Steinsalzaufnahme gleich 4,146), liess sich die Gitterkonstante leicht berechnen. Für $2d$ wurden also die Werte $15{,}254$ *bzw* $15{,}230 \cdot 10^{-8}$ cm gefunden, welche sich nur um 0,16 % unterscheiden. Als endgültiger Wert der doppelten Gitterkonstante für Gips ergab sich also $15{,}242 \cdot 10^{-8}$ cm. Für die Gitterkonstante des Steinsalzes ist der Moseleysche Wert $2{,}814 \cdot 10^{-8}$ cm benutzt worden. Diese Zahl ist unter Annahme des Wertes 2,167 für das spez. Gewicht des Steinsalzes und $6{,}05 \cdot 10^{23}$ für die Avogadrosche Konstante erhalten worden. Eine Bestimmung des spez. Gewichtes des hier angewandten Steinsalzkristalles hat den Wert 2,162 ergeben, was eine gute Übereinstimmung ist. Indessen hat die Gitterkonstante wegen der Unsicherheit der Avogadroschen Zahl nur eine Genauigkeit von 2 %.

Bei den Aufnahmen mit dem Gipskristall ist im allgemeinen die $Cu\alpha_1$-Linie zweiter Ordnung als Referenzlinie benutzt worden. Die Entfernung derselben von dem Nullpunkt der Platte war wie schon erwähnt $-9{,}16$ mm.

Um die Schwärzung der Platte möglichst klein zu machen hat es sich gut bewährt ein dünnes Seidenpapier vor der Öffnung des Bleischutzes anzubringen. Da indessen beim Übergang zu weicheren Strahlen die Absorption im Papier stark zur Geltung kommt, wurde das Papier von *Rh* ab weggelassen. Die Aluminiumfolie wirkt bei grösseren Wellenlängen ebenfalls stark absorbierend und wurde schon bei *Te* durch Goldschlägerhaut ersetzt. Diese hält das von der Antikathode ausgehende Luminiszenzlicht nicht völlig zurück, warum eine gewisse Schwärzung der Platten nicht zu vermeiden war. Da die Ränder der Schwärzung immer auf genau dieselben Stellen fallen, was Vergleiche mit den $Cu\alpha_1$-Linien bei mehreren Platten gezeigt haben, können diese Ränder ebensogut als Referenzlinien dienen. Davon habe ich mich auch in einigen Fällen (*Mo*, *Y*, *Sr*, *Rb*, *Br* und *Zn*) bedient. Die Entfernungen der beiden Ränder (R_1 und R_2) von dem Nullpunkte waren im Mittel $-43{,}80$ bzw $41{,}79$ mm.

Die Aufnahme eines Spektrogramms nahm im allgemeinen eine Stunde in Anspruch. Hierbei wurde insgesamt ein Bereich von 5 bis 6° Graden überfahren. Womöglich wurde das ganze Spektrm auf einer Platte aufgenommen. In mehreren Fällen mussten einige Linien (z. B. α—β) in der einen Lage und die übrigen (γ) in der nächstfolgenden photographiert werden. Dies geschah auch auf einer und derselben Platte, indem der Spektrograph nach dem Lufteinlassen bei rotem Licht geöffnet und der Schlitten in die neue Lage gebracht wurde. Dieses Verfahrens habe ich mich auch mehrmals bei der Aufnadme der $Cu\alpha_1$-Linie (Lage I) bedient.

Die Ausmessung der Platten geschah in diesem Falle mit Komparator auf Hundertstel Millimeter. Nur die schwachen Linien, die in den Tabellen mit *s* be-

zeichnet sind, wurden mit Millimeterstab auf Zehntels Millimeter gemessen. Den Winkelwerten kann auch hier eine Genauigkeit von etwa 0,3 % zugeschrieben werden [1].

Mit den oben beschriebenen Versuchsanordnungen sind sehr scharfe Spektrogramme aufgenommen worden. Als Beispiele sind in der Fig. 1 der Tafel die mit dem Röntgenspektrometer erhaltenen Spektrogramme der Elemente Uran, Blei und Wolfram reproduziert. In Fig. 2 finden sich die Spektrogramme von Aldebaranium, Terbium und Silber, aufgenommen mit dem Spektrographen, die drei ersteren mit Steinsalz-, das letztere mit Gipskristall als Reflektor.

[1] Bei den schwachen Linien ist die Unsicherheit etwas grösser.

III.

Messungsresultate.

Die Resultate der Messungen sind in den Tabellen 2 bis 52 gegeben. Die 15 ersten Tabellen, welche die Elemente Uran bis Tantal umfassen, beziehen sich auf den mit dem Röntgenspektrometer ausgeführten Versuchen, während die übrigen Tabellen die mit dem Vakuumspektrographen erhaltenen Resultate darstellen. Zur Kontrolle wurde Tantal nach beiden Methoden aufgenommen. Die für dieses Element erhaltenen Daten, welche in den Tabellen 16 und 17 sich finden, stimmen gut überein. Als Reflektor ist bis Palladium (Tab. 39) Steinsalz benutzt worden. Von Silber ab (bis *Zn*) sind die Aufnahmen mit einem Gipskristall ausgeführt, dessen Gitterkonstante in der früher beschriebenen Weise ermittelt wurde (vgl. *S.* 20). Die Richtigkeit dieses Wertes geht aus der guten Übereinstimmung der Werte der Tabellen 38 und 40 (*Ag*) einerseits, 39 und 41 (*Pd*) anderseits hervor.

In der ersten Kolumne sind die Bezeichnungen der Linien angegeben. Da die zuerst aufgenommenen Spektrogramme (*Au*, *Pb*, *Bi*) drei Liniengruppen zeigten, wurden diese α, β und γ genannt. Die verschiedenen Linien innerhalb einer Gruppe wurden dann mit dem Buchstaben der Gruppe nebst zugefügten Indices bezeichnet, welche im allgemeinen mit abnehmender Intensität zunahmen. Diese Bezeichnung ist auch in der ganzen Arbeit beibehalten worden um so mehr als die drei Liniengruppen noch bei den leichtesten von mir untersuchten Elementen nicht zusammengefallen sind. In der ersten Kolumne sind auch die Verunreinigungen, welche identifiziert worden sind, angegeben. Die zweite Kolumne enthält die Intensitäten, welche bei den Spektrometerversuchen in relativem Mass (α_1 gleich 10) dargestellt sind, während sie bei den Spektrographaufnahmen mit *st* (stark), *m* (mittelstark) und *s* (schwach) bezeichnet sind. Im letzteren Falle konnten nämlich die Intensitäten nicht so genau verglichen werden, da der Kristall infolge der Benutzung der Exzenterscheibe nicht gleichförmig gedreht wurde. In der dritten Kolumne finden sich die Abstände (a) der Linien von der direkten Linie bzw von dem Nullpunkt der Platte. Die vierte Kolumne enthält die berechneten Reflexionswinkel φ, die fünfte die aus der Beziehung $\lambda = 2d \cdot \sin\varphi$ [1] ermittelten Wellenlängen und die sechste die

[1] Die Spektra wurden immer in der ersten Ordnung aufgenommen.

Wurzeln aus den Frequenzen. Diese letzteren Werte sind bei der graphischen Darstellung der Resultate (Fig. 8) benutzt worden. Eine Zusammenstellung der Wellenlängen sämtlicher Linien ist in der Tabelle 53 gegeben. In derselben sind auch die SIEGBAHN'schen Werte [1] der *l*-Linien der Elemente Uran bis Wolfram angeführt.

a) Steinsalzkristall.

$d = 2{,}814 \cdot 10^{-8}$ cm.

TAB. 2.

Uran.

$r = 16{,}40$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	5,00	9° 25′,6	0,922	1,042
α_1	10	5,53	9° 19′,0	0,911	1,048
—	2	4,73	8° 1′,7	0,786	1,128
β_2	7	4,52	7° 43′,3	0,756	1,150
β_4	2	4,48	7° 38′,4	0,748	1,156
β_5	2	4,33	7° 23′,8	0,724	1,175
β_1	7	4,30	7° 20′,8	0,720	1,179
β_3	1	4,24	7° 14′,8	0,710	1,187
γ_1	4	3,65	6° 16′,4	0,615	1,275
—	0	3,60	6° 11′,4	0,607	1,284
$\gamma_{2,3}$	0	3,53	6° 4′,4	0,596	1,296

TAB. 3.

Thor.

$r = 16{,}39$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	5,91	9° 54′,8	0,969	1,016
α_1	10	5,83	9° 47′,4	0,957	1,022
—	2	5,00	8° 29′,0	0,830	1,098
β_2, β_4	6	4,78	8° 7′,8	0,797	1,121
β_1, β_5	8	4,59	7° 49°,3	0,766	1,143
β_3	2	4,54	7° 44′,5	0,758	1,149
γ_1	4	3,89	6° 40′,5	0,654	1,236
$\gamma_{2,3}$	1	3,77	6° 28′,6	0,635	1,255

[1] Verh. D. Phys. Ges. **18**, 150, 1916.

TAB. 4.

Radium.

Linie	a cm.	r cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	5,72	15,15	10° 20′,5	1,010	0,995

TAB. 5.

Polonium.

$r = 12{,}73$ cm.

Linie	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
—	6,06	12° 43′,7	1,240	0,898
$Pb\alpha_1$ [1]	5,70	12° 3′,6	1,176	0,922
—	5,54	11° 45′,6	1,147	0,934
α_1	5,33	11° 21,6	1,109	0,950
—	5,03	10° 46′,8	1,053	0,975
—	4,98	10° 41′,0	1,043	0,979
$Pb\beta_1$ [1]	4,66	10° 3′,2	0,982	1,009
—	4,54	9° 48′,8	0,959	1,021
β_1	4,34	9° 24′,8	0,920	1,042
—	4,21	9° 9′,0	0,895	1,057
—	4,11	8° 56′,8	0,875	1,069
—	4,06	8° 50′,7	0,865	1,075

TAB. 6.

Wismuth.

$r = 12{,}75$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
—	0	5,68	12° 0′,4	1,171	0,924
α_2	3	5,58	11° 49′,1	1,153	0,931
α_1	10	5,53	11° 43′,4	1,144	0,935
η_1	1	5,07	10° 50′6	1,059	0,972
—	2	4,72	10° 9′,4	0,992	1,004
β_4	2	4,64	9° 59′,9	0,977	1,012
β_2	6	4,52	9° 45′,6	0,954	1,024
β_1	8	4,50	9° 43′,2	0,950	1,026
β_3	2	4,43	9° 34′,8	0,937	1,033
β_5	2	4,36	9° 26′,3	0,923	1,041
γ_1	3	3,79	8° 16′,7	0,810	1,111
γ_2	1	3,71	8° 6′,8	0,794	1,122
γ_3	2	3,69	8° 4′,3	0,790	1,125
γ_4	0	3,55	7° 46′,8	0,762	1,146

[1] Wahrscheinlich vom Bleispalte herrührend.

TAB. 7.

Blei.

$r = 12{,}72$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	5,75	12° 9′,8	1,186	0,918
α_1	10	5,69	12° 3′,0	1,175	0,923
η_1	0	5,23	11° 10,5	1,091	0,957
—	2	4,87	10° 28′,5	1,023	0,983
β_4	2	4,79	10° 19′,1	1,008	0,996
β_1, β_2	9	4,66	10° 3,6	0,983	1,009
β_3	2	4,58	9° 54′,1	0,968	1,016
—	2	4,50	9° 44′,5	0,855	1,081
γ_1	3	3,94	8° 36′,3	0,842	1,090
γ_2	1	3,83	8° 22′,8	0,820	1,104
γ_3	1	3,81	8° 20′,3	0,816	1,107
γ_4	0	3,69	8° 5′,3	0,792	1,124

TAB. 8.

Thallium.

$r = 12{,}75$

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	5,93	12° 28′,3	1,215	0,907
α_1	10	5,87	12° 21′,7	1,205	0,911
η_1	0	5,42	11° 30′,9	1,124	0,943
—	1	5,00	10° 42′,4	1,046	0,978
β_4	2	4,95	10° 36°,5	1,036	0,982
β_1	8	4,82	10° 21°,3	1,012	0,994
β_2	6	4,79	10° 17′,8	1,006	0,997
β_3	2	4,75	10° 13′,0	0,998	1,001
β_5	2	4,64	9° 59′,9	0,977	1,011
—	0	4,33	9° 22′,8	0,917	1,044
γ_1	3	4,06	8° 49′,9	0,864	1,076
γ_2	1	3,96	8° 37′,7	0,844	1,088
γ_3	1	3,94	8° 35′,2	9,840	1,091
γ_4	1	3,78	8° 15′,4	0,808	1,112

TAB. 9.

Quecksilber.

$r = 12{,}75$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a. cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Cu\alpha_2$	3	7,89	15° 52′,5	1,539	0,806
$Cu\alpha_1$	10	6,96	14° 18′,9	1,392	0,847
—	3	6,91	14° 13′,7	1,383	0,850
α_2	2	6,13	12° 50,3	1,251	0,894
α_1	10	6,07	12° 43′,8	1,240	0,898
β_1	8	5,02	10° 44′,8	1,049	0,976
β_2	6	4,98	10° 40′,1	1,042	0,980
γ_1	3	4,22	9° 9′,4	0,896	1,056

TAB. 10.

Gold.

$r = 12{,}74$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	3	6,31	13° 10′,5	1,2 3	0,883
α_1	10	6,24	13° 2′,8	1,271	0,887
η	0	5,82	12° 16′,6	1,197	0,914
β_4	1	5,30	11° 17′,7	1,102	0,952
β_1	8	5,18	11° 3′,8	1,080	0,962
β_2	6	5,10	10° 54′,5	1,065	0,969
β_5	2	4,94	10° 35,8	1,035	0,983
γ_1	3	4,35	9° 25°,6	0,922	1,042
γ_2	1	4,23	9° 11′,0	0,898	1,055
γ_3	1	4,21	9° 8,6	0,894	1,057
γ_4	0	4,08	8° 52,8	0,869	1,073

TAB. 11.

Platin.

$r = 12{,}75$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
Ir α_2	0	6,76	13° 58′,0	1,358	0,858
Ir α_1	3	6,71	13° 52′,7	1,350	0,861
α_2	3	6,55	13° 35′,8	1,323	0,869
α_1	10	6,49	13° 29′,3	1,313	0,873
—	2	6,27	13° 5′,6	1,275	0,885
η	2	6,08	12° 44′,8	1,242	0,897
Ir β_1	3	5,61	11° 52′,5	1,158	0,929
β_4	4	5,52	11° 42′,3	1,142	0,936
Ir β_2	2	5,48	11° 37′,8	1,134	0,939
β_1	8	5,40	11° 28′,6	1,120	0,945
β_2	6	5,30	11° 17′,2	1,101	0,953
β_3	1	5,28	11° 14′,8	1,098	0,954
—	1	5,20	11° 5′,7	1,033	0,961
β_5	2	5,14	10° 58′,7	1,072	0,966
Ir γ_1	0	4,71	10° 8′,3	0,991	1,005
γ_1	3	4,54	9° 48′,0	0,958	1,022
γ_2	1	4,41	9° 32′ 4	0,933	1,035
γ_3	1	4,39	9° 30′,0	0,929	1,038
γ_4	1	4,24	9° 11′,8	0,900	1,054

TAB. 12.

Iridium.

$r = 12{,}75$ cm.

Linie	Rel. Intens	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
—	1	7,21	14° 44′,7	1,432	0,836
Cu_1	3	6,95	14° 17′,8	1,390	0,848
α_2	3	6,77	13° 59′,0	1,360	0,858
α_1	10	6,71	13° 52′,7	1,350	0,861
$Pt\alpha_2$	1	6,54	13° 34′,7	1,322	0,870
$Pt\alpha_1$	6	6,48	13° 28′,3	1,311	0,873
β_4	3	5,71	12° 3,8	1,176	0,922
β_1	8	5,59	11° 50′,3	1,154	0,931
β_3	2	5,50	11° 40′,0	1,138	0,938
β_2	6	5,47	11° 36′,6	1,133	0,940
$Pt\beta_1$	4	5,39	11° 27′,5	1,118	0,946
β_5	0	5,30	11° 17′,2	1,101	0,953
$Pt\beta_2$	3	5,29	11° 16′,0	1,100	0,954
γ_1	3	4,70	10° 7′,1	0,989	1,006
γ_2	1	4,56	9° 50′,4	0,962	1,020
γ_3	1	4,53	9° 46′,8	0,956	1,023
γ_4	1	4,33	9° 22′,8	0,917	1,044

TAB. 13.

Osmium.

$r = 12{,}77$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Cu\alpha_2$	8	7,89	15° 51′,3	1,538	0,806
$Cu\alpha_1$	10	7,87	15° 49′,3	1,534	0,807
α_2	3	7,01	14° 22′,9	1,398	0,846
α_1	10	6,95	14° 16′,7	1,388	0,849
β_4	3	5,93	12° 27′,3	1,214	0,908
β_1	8	5,82	12° 15′,0	1,194	0,915
β_3	3	5,72	12° 3′,8	1,176	0,922
β_2	6	5,67	11° 58′,3	1,167	0,926
γ_1	3	4,88	10° 27′,4	1,021	0,990

TAB. 14.

Wolfram.

$r = 12{,}76$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Cu\ \alpha_2$	8	7,89	15° 51′,9	1,539	0,806
$Cu\ \alpha_1$	10	7,87	15° 49′,9	1,535	0,807
α_2	3	7,52	15° 15′,4	1,481	0,822
α_1	10	7,46	15° 9′,3	1,471	0,825
$Cu\ \beta_1$	9	6,94	14° 16′,3	1,387	0,849
β_4	3	6,40	13° 19′,1	1,296	0,878
β_1	8	6,29	13° 7′,3	1,278	0,884
β_3	3	6,18	12° 55′,3	1,258	0,892
β_2	6	6,08	12° 44′,3	1,241	0,897
γ_1	3	5,27	11° 13′,3	1,095	0,956
γ_2	1	5,10	10° 53′,6	1,064	0,969
γ_3	1	5,07	10° 50′,1	1,058	0,972

TAB. 15.

Tantal I.

$r = 13{,}84$ cm.

Linie	Rel. Intens.	a cm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
Cu α_1	10	8,54	15° 50′,3	1,536	0,807
α_2	3	8,48	15° 44′,9	1,528	0,809
α_1	10	8,41	15° 38′,6	1,518	0,812
Cu β_1	4	7,53	14° 16′,5	1,388	0,849
β_4	2	7,24	13° 48′,5	1,343	0,863
β_1	8	7,11	13° 35°,8	1,323	0,869
β_3	3	6,98	13° 22′,9	1,303	0,876
β_2	6	6,84	13° 9′,0	1,280	0,884
γ_1	3	5,95	11° 37′,9	1,135	0,939
γ_2	1	5,75	11° 16′,8	1,101	0,953
γ_3	1	5,73	11° 14′,7	1,097	0,955

TAB. 16.

Tantal II.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
α_2	m	8,77	15° 47′,0	1,531	0,808
α_1	st	8,28	15° 40′,3	1,520	0,812
η_1	s	4,4	14° 46′,5	1,435	0,835
Cu β_1	st	2,37	14° 18′,4	1,391	0,848
β_4	m	0,24	13° 48′,8	1,344	0,863
β_1	st	— 0,56	13° 37′,7	1,326	0,868
β_3	m	— 1,48	13° 24′,9	1,306	0,876
β_2	st	— 2,48	13° 11′,0	1,284	0,883
γ_1	m	— 9,11	11° 39′,2	1,137	0,938
γ_2	s	— 10,6	11° 18′,6	1,104	0,952
γ_3	s	— 10,9	11° 14′,4	1,097	0,955

TAB. 17.

Casseopeium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
l	s	23,0	19° 1′,2	1,834	0,738
α_2	m	13,33	16° 49′,8	1,629	0,784
α_1	st	12,84	16° 43′,1	1,619	0,786
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
β_4	s	4,5	14° 47′,9	1,437	0,834
β_1	st	3,76	14° 37′,6	1,421	0,839
β_3	m	2,73	14° 23′,3	1,399	0,845
Cu β_1	st	2,36	14° 18′,2	1,390	0,848
β_2	m	1,35	14° 4′,2	1,368	0,855
γ_1	m	— 5,17	12° 33′,7	1,224	0,904
γ_2	s	— 6,8	12° 11′,1	1,188	0,918
γ_3	s	— 7,0	12° 8′,3	1,183	0,919

TAB. 18.

Aldebaranium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
l	s	25,8	19° 38′,6	1,892	0,727
α_2	m	15,72	17° 22′,6	1,681	0,771
α_1	st	15,20	17° 15′,4	1,670	0,774
γ_1	s	12,8	16° 42′,5	1,618	0,786
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
β_4	m	6,90	15° 21′,2	1,490	0,819
β_1	st	6,18	15° 11′,2	1,474	0,824
β_3	m	5,10	14° 56′,2	1,451	0,830
—	s	3,8	14° 38′,2	1,422	0,839
β_2	st	3,44	14° 33′,2	1,414	0,841
β_5, Cu β_1	st	2,37	14° 18′,3	1,391	0,848
γ_1	m	— 3,22	13° 0′,7	1,267	0,888
γ_2	s	— 5,0	12° 36′,0	1,228	0,902
γ_3	s	— 5,2	12° 33′,3	1,223	0,904

TAB. 19.

Erbium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
—	s	27,9	20° 6′,5	1,935	0,719
α_2	m	21,09	18° 35′,5	1,794	0,747
α_1	st	20,56	18° 28′,3	1,783	0,749
γ_1	s	17,8	17° 50′,9	1,725	0,761
β_4	s	11,9	16° 30′,2	1,599	0,791
β_1	st	11,33	16° 22′,3	1,586	0,794
β_3	s	10,1	16° 5′,3	1,560	0,801
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
β_2	st	7,99	15° 36′,2	1,514	0,813
γ_1	m	1,28	14° 3′,2	1,367	0,855
γ_2	s	— 0,7	13° 35′,7	1,323	0,869
γ_3	s	— 1,0	13° 31′,5	1,316	0,872

TAB. 20.

Holmium.

Lage I.

Linie	Intens	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	23,94	19° 13′,8	1,854	0,734
α_1	st	23,44	19° 7′,1	1,843	0,737
β_4	s	14,6	17° 7′,3	1,657	0,777
β_1	m	14,11	17° 0′,5	1,646	0,779
β_3	s	12,9	16° 43′,9	1,620	0,786
β_2	s	10,5	16° 10′,9	1,568	0,799
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
γ_1	s	3,5	14° 34′,0	1,415	0,841
Cu β_1	st	2,4	14° 18′,8	1,391	0,848
γ_2	s	1,4	14° 4′,8	1,369	0,855
β_3	s	1,2	14° 2′,1	1,365	0,856

TAB. 21.

Dysprosium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	26,99	19° 54′,4	1,916	0,722
α_1	st	26,51	19° 48′,1	1,907	0,724
β_4	s	17,6	17° 48′,1	1,721	0,762
β_1	m	17,05	17° 40′,7	1,709	0,765
β_3	s	15,8	17° 23′,7	1,683	0,771
β_2	m	13,00	16° 45′,3	1,622	0,785
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
γ_1	s	6,0	15° 8′,7	1,470	0,825
γ_2	s	3,8	14° 38′,2	1,422	0,839
γ_3	s	3,6	14° 35′,4	1,418	0,840

TAB. 22.

Terbium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	30,28	20° 37′,8	1,983	0,710
α_1	st	29,77	20° 31′,1	1,973	0,712
—	s	27,9	20° 6′,5	1,935	0,719
β_4	s	20,6	18° 28′,9	1,784	0,749
β_1	st	20,17	18° 23′,1	1,775	0,751
β_3	m	18,73	18° 3′,6	1,745	0,757
—	s	16,1	17° 27′,8	1,689	0,770
β_2	st	15,76	17° 23′,1	1,682	0,771
β_5	s	14,7	17° 8′,6	1,659	0,776
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
γ_1	s	8,8	15° 47′,4	1,531	0,808
γ_2	s	6,3	15° 12′,8	1,477	0,823
γ_3	s	6,0	15° 8′,7	1,470	0,825
γ_4	s	4,5	14° 47′,8	1,437	0,834
—	s	4,4	14° 46′,5	1,435	0,835
Cu β_1	st	2,37	14° 18′,3	1,391	0,848

TAB. 23.

Gadolinium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	33,85	21° 24′,3	2,054	0,698
α_1	st	33,30	21° 17′,2	2,043	0,700
β_4	s	23,8	19° 11′,9	1,851	0,735
β_1	m	23,49	19° 7′,8	1,844	0,736
β_3	s	21,9	18° 46′,4	1,811	0,743
—	s	18,9	18° 5′,9	1,748	0,756
β_2	m	18,68	18° 2′,9	1,744	0,757
γ_1	s	11,8	16° 28′,8	1,597	0,791
—	s	11,6	16° 26′,0	1,592	0,793
(γ_2)	s	10,2	16° 6′,8	1,562	0,800
(γ_3)	s	10,0	16° 4′,0	1,558	0,801
Cu α^1	st	9,17	—	—	—

TAB. 24.

Europium.

α II. β—γ I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	st	— 23,86	22° 8′,5	2,121	0,687
α_2	m	— 23,38	22° 14′,9	2,131	0,685
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
γ^8	s	11,5	16° 24′,7	1,590	0,793
γ_2	s	11,9	16° 30′,2	1,599	0,791
—	s	14,6	17° 7′,3	1,657	0,777
γ_1	s	14,8	17° 10′,1	1,662	0,776
$\beta 2$	m	21,83	18° 45′,5	1,810	0,743
—	s	22,1	18° 49′,1	1,815	0,742
β_3	s	25,6	19° 36′,0	1,888	0,728
β_1	st	27,07	19° 55′,5	1,918	0,722
β_4	s	27,3	19° 58′,6	1,923	0,721

TAB. 25.

Samarium.

α—β II. γ I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
γ_1	s	17,8	17° 50′,9	1,725	0,761
$\gamma_{2,3}$	s	14,7	17° 8′,6	1,659	0,776
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
α_2	m	— 19,59	23° 7′,2	2,210	0,673
α_1	st	— 19,97	23° 0′,9	2,200	0,674
β_1	st	— 29,85	20° 49′,1	2,000	0,707
β_3	m	— 31,61	20° 26′,1	1,965	0,713
β_2	m	— 35,68	19° 33′,4	1,884	0,729

TAB. 26.

Neodym.

α—β II. γ I.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
γ_1	m	24,97	19° 27′,6	1,875	0,730
γ_2	s	21,5	18° 41′,0	1,803	0,745
γ_3	s	21,1	18° 22′,8	1,775	0,751
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
α_2	m	— 11,21	25° 0′,6	2,379	0,648
α_1	st	— 11,72	24° 53′,6	2,369	0,650
β_1 β_4	st	— 21,62	22° 38′,6	2,167	0,679
β_3	m	— 23,54	22° 12′,8	2,128	0,686
—	s	— 24,7	21° 44′,4	2,085	0,693
β_2	st	— 28,05	21° 12′,8	2,036	0,701

TAB. 27.

Praseodym.

α—β II. γ I.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
γ_1	m	29,04	20° 21′,5	1,958	0,715
γ_2	s	28,0	20° 7′,8	1,937	0,718
γ_3	s	27,8	20° 5′,0	1,933	0,719
Cu α_1	st	9,17	—	—	—
α_2	m	— 6,66	26° 3′,4	2,472	0,636
α_1	st	— 7,15	25° 56′,7	2,462	0,637
Nd α_1	s	— 11,6	24° 55′,1	2,372	0,649
β_1	st	— 17,08	23° 40′,2	2,259	0,665
β_3	m	— 19,15	23° 12′,0	2,217	0,672
Nd β_1	s	— 21,5	22° 40′,1	2,169	0,679
—	s	— 23,6	22° 11′,8	2,126	0,686
β_2	st	— 23,90	22° 8′,0	2,120	0,687

TAB. 28.

Cer.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
(Cu α_1)$_2$	st	24,32	—	—	—
α_2	m	— 1,67	27° 12′,6	2,573	0,623
α_1	st	— 2,16	27° 5′,8	2,563	0,625
—	m	— 7,00	25° 58′,8	2,465	0,637
—	m	— 7,21	25° 55′,8	2,461	0,638
—	s	— 9,6	25° 22′,8	2,412	0,644
Nd α_2	s	— 11,0	25° 3′ 4	2,384	0,648
Nd α_1	st	— 11,51	24° 56′,4	2,373	0,649
β_1	st	— 12,21	24°,46′,8	2,359	0,651
β_4	m	— 12,47	24° 45′,2	2,357	0,651
β_3	m	— 14,35	24° 17′,4	2,315	0,657
—	m	— 14,76	24° 11′,8	2,307	0,658
Pr β_1	m	— 16,91	23° 42′,4	2,263	0,665
β_2	m	— 19,39	23° 8′,7	2,212	0,672
—	s	— 19,80	23° 3′,2	2,204	0,674
Nd β_1	s	— 21,4	22° 41′,6	2,171	0,679
Pr β_2	s	— 23,8	22° 9′,3	2,122	0,686
γ_1	m	— 27,25	21° 23′,3	2,052	0,698
Nd β_2	m	— 27,88	21° 15′,0	2,040	0,700
(γ_2, $_3$)	s	— 29,7	20° 51′,0	2,003	0,707

TAB. 29.

Lanthan.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
(Cu α_1)$_2$	st	24,32	—	—	—
α_2	m	3,42	28° 23′,2	2,674	0,612
α_1	st	2,93	28° 16′,5	2,665	0,613
β_1	st	— 7,20	25° 56′,0	2,461	0,637
β_4	s	— 7,6	25° 50′,4	2,453	0,639
β_3	s	— 9,5	25° 24′,2	2,414	0,644
Nd α_1	s	— 11,5	24° 56′,6	2,371	0,649
β_2	st	— 14,77	24° 11′,7	2,307	0,658
γ_1	st	— 22,65	22° 24′,7	2,146	0,683

TAB. 30.

Baryum.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
(Cu α_1)$_2$	st	24,32	—	—	—
α_2	m	8,97	29° 40′,2	2,786	0,599
α_1	st	8,47	29° 33′,2	2,776	0,600
β_1	st	— 1,90	27° 9′,4	2,569	0,624
β_4	s	— 2,4	27° 2′,6	2,558	0,625
β_3	s	— 4,3	26° 36′,2	2,520	0,630
β_2	st	— 9,86	25° 19′,2	2,407	0,645
γ_1	m	— 17,78	23° 30′,6	2,245	0,667

TAB. 31.

Caesium.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
(Cu α_1)$_2$	st	24,32	—	—	—
α_2	m	14,77	31° 0′,0	2,899	0,587
α_1	st	14,36	30° 54′,3	2,891	0,588
Ba α_1	m	8,83	29° 38′,2	2,783	0,599
β_1	st	3,85	28° 29′,2	2,684	0,610
β_4	s	3,0	28′ 17′,6	2,668	0,612
β_3	s	1,1	27° 51′,2	2,629	0,617
β_2	st	— 4,62	26° 30′,7	2,514	0,631
γ_1	m	— 12,63	24° 41′,0	2,350	0,654
$\gamma_{2,3}$	s	— 18,3	23° 23′,5	2,231	0,669

TAB. 32.

Jod.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	28,57	34° 5′,7	3,155	0,563
α_1	st	28,07	33° 59′,1	3,146	0,564
$(Cu\ \alpha_1)_2$	st	24,32	—	—	—
β_1	st	16,72	31° 26′,6	2,934	0,584
β_4	s	15,43	31° 9′,0	2,911	0,586
β_3	m	13,42	30° 41′,5	2,873	0,590
$(Cu\ \beta_1)_2$	m	8,87	29° 38′,8	2,784	0,599
β_2	st	7,16	29° 15′,1	2,750	0,603
γ_1	m	— 1,20	27° 19′,2	2,583	0,622

TAB. 33.

Tellur.

α III. β—γ II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$J\ \alpha_1$	m	27,98	33° 58′,0	3,144	0,564
$(Cu\ \alpha_1)_2$	st	24,32	—	—	—
β_1	st	24,08	33° 6′,1	3,074	0,570
β_4	s	22,5	32° 44′,9	3,044	0,573
β_3	s	20,5	32° 17′,9	3,007	0,577
$J\ \beta_1$	m	16,69	31° 26′,2	2,935	0,584
β_2	st	13,84	30° 47′,2	2,881	0,589
$(Cu\ \beta_1)_2$	m	8,83	29° 38′,2	2,783	0,599
γ_1	m	5,25	28° 48′,7	2,712	0,607
α_2	m	— 24,24	35° 53′,0	3,299	0,551
α_1	st	— 24,73	35° 46′,5	3,290	0,551

TAB. 34

Antimon.

α—β III. γ II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
γ_1	s	12,2	30° 24′,7	2,849	0,593
$\gamma_{2,3}$	s	8,8	29° 37′,8	2,782	0,600
α_2	m	— 16,13	37° 42′,7	3,443	0,539
α_1	st	— 16,62	37° 36′,0	3,434	0,540
β_1	st	— 28,56	34° 55′,6	3,222	0,557
β_4	s	— 30,7	34° 27′,5	3,184	0,560
β_3	s	— 32,7	34° 1′,5	3,149	0,564
$(Cu\ a_1)_2$	st	— 36,75	—	—	—
β_2	m	— 40,02	32° 27′,9	3,021	0,575

TAB. 35.

Zinn.

α—β III. γ II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	— 6,94	39° 49′,2	3,604	0,527
α_1	st	— 7,48	39° 41′,6	3,594	0,528
β_1	st	— 19,60	36° 55′,5	3,381	0,544
β_4	s	— 22,1	36° 21′,8	3,337	0,547
β_3	s	— 24,2	35° 53′,5	3,300	0,551
β_2	st	— 31,38	34° 18′,7	3,172	0,561
(Cu α_1)$_2$	st	— 36,75	—	—	—
γ_1	m	20,07	32° 12′,1	2,999	0,577
γ_2	s	14,9	31° 1′,7	2,903	0,587
γ_3	s	14,3	30° 53′,5	2,889	0,588
γ_4	s	11,3	30° 12′,3	2,831	0,594

TAB. 36.

Indium.

Lage III.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	s	2,95	42° 6′,4	3,774	0,515
α_1	st	2,50	42° 0′,1	3,766	0,515
Snα_1	m	— 7.38	39′ 43′,1	3,596	0,527
β_1	st	— 10,05	39° 6′,2	3,550	0,531
Snβ_1	m	— 19,65	36° 54′,8	3,380	0,541
—	m	— 21,14	36° 34′,7	3,354	0,546
β_2	m	— 22,22	36° 20′,1	3,335	0,548
γ_1	s	— 32,1	34° 9′,3	3,160	0,563
—	s	— 33,1	33° 56′,3	3,142	0,564
(Cuα_1)$_2$	st	— 36,75	—	—	—

TAB. 37.

Cadmium.

Lage III.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	14,21	44° 41′,9	3,959	0,503
α_1	st	13,63	44° 33′,9	3,949	0,503
β_1	st	0,53	41° 32′,8	3,733	0,518
β_4	s	— 2,8	40° 46′,5	3,676	0,522
β_3	s	— 4,9	40° 17′,4	3,639	0,524
β_2	st	— 12,34	38° 38′,5	3,514	0,533
γ_1	m	— 22,40	36° 17′,7	3,331	0,548
(Cu α_1)$_2$	st	— 36,75	—	—	—

TAB. 38.

Silber I.

Lage III.

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^2$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	s	27,05	47° 35′,3	4,155	0,491
α_1	m	26,45	47° 27′,3	4,146	0,491
β_1	m	12,30	44° 15′,7	3,928	0,505
β_4	s	8,2	43° 19′,1	3,861	0,509
β_3	s	5,9	42° 47′,3	3,823	0,511
β_2	m	— 1,52	41° 4′,3	3,698	0,520
γ_1	s	— 12,0	38° 39′,3	3,515	0,533
$(\mathrm{Cu}\ \alpha_1)_2$	st	— 36,75	—	—	—

TAB. 39.

Palladium I.

α IV. β III.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
β_2	s	10,7	43° 53′,7	3,902	0,506
β_1	m	25,94	47° 20′,5	4,139	0,492
α_1	m	— 19,61	50° 47′,8	4,361	0,479
$(\mathrm{Cu}\ \alpha_1)_2$	m	— 36,75	—	—	—

b) Gipskristall.

$d = 7{,}621 \cdot 10^{-8}$ cm.

TAB. 40.

Silber II.

Lage I

Linie	Intens.	a mm	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	8,98	15° 49′,9	4,158	0,490
α_1	st	8,83	15° 47′,8	4,146	0,491
α_3	m	8,56	15° 44′,1	4,133	0,492
β_1	st	5,11	14° 56′,4	3,930	0,505
β_4	s	4,0	14° 40′,9	3,863	9,509
β_3	m	3,38	14° 32′,4	3,827	0,511
β_2	st.	1,23	14° 2′,5	3,698	0,520
γ_1	m	— 1,82	13° 20′,2	3,516	0,533
$(\mathrm{Cu}\ \alpha_1)_2$	st	— 9,16	—	—	—

TAB. 41.

Palladium II.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	12,65	16° 40′,5	4,374	0,478
α_1	st	12,50	16° 38′,4	4,365	0,479
α_3	m	12,28	16° 35′,4	4,352	0,479
β_1	st	8,73	15° 46′,5	4,144	0,491
β_4	s	7,5	15° 29′,4	4,071	0,496
β_3	s	6,8	15° 19′,8	4,030	0,498
β_3	m	4,68	14° 50′,4	3,904	0,506
γ_1	s	1,6	14° 7′,6	3,720	0,519
$\gamma_{2,3}$	m	— 0,47	13° 38′,9	3,597	0,527
(Cu α_1)$_2$	st	— 9,16	—	—	—

TAB. 42.

Rhodium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{4}$ -
(Pb α_1)$_4$	st	18,76	18° 4′,0	4,727	0,460
α_1	st	16,48	17° 32′,9	4,596	0,467
α_3	m	16,15	17° 28′,4	4,577	0,467
—	m	13,12	16° 46′,9	4,401	0,477
β_1	st	12,62	16° 40′,1	4,372	0,478
(Cu α_1)$_2$	—	— 9,16	—	—	—

TAB. 43.

Ruthenium.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	20,98	18° 34′,0	4,853	0,454
α_1	st	20,84	18° 32′,1	4,845	0,454
α_3	m	20,45	18° 26′,9	4,823	0,455
(Pbα_1)$_4$	s	18,7	18° 3′,2	4,723	0,460
β_1	st	16,88	17° 41′,1	4,630	0,465
(Cuα_1)$_2$	st	— 9,16	—	—	—

TAB. 44.

Molybdän.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
R_2	—	41,79	—	—	—
α_2	m	31,02	20° 47′,5	5,410	0,430
α_1	st	30,89	20° 45′,8	5,403	0,430
α_3	m	30,47	20° 40′,3	5,381	0,431
β_1	st	26,72	19° 50′,9	5,175	0,440

TAB. 45.

Niob.

Lage I.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_2	m	37,04	22° 5′,2	5,731	0,418
α_1	st	36,90	22° 3′,4	5,724	0,418
α_3	m	36,61	21° 59′,7	5,709	0,419
β_1	st	32,55	21° 7′,4	5,493	0,427
β_2	s	29,3	20° 24′,9	5,317	0,434
$(Cu\ \alpha_1)_2$	m	— 9,16	—	—	—

TAB. 46.

Zirkon.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Cu\ \alpha_1)_2$	m	— 9,16	—	—	—
α_1	st	— 17,71	23° 31′,4	6,083	0,406
α_2	s	— 18,2	23° 24′,9	6,057	0,406
β_1	st	— 21,93	22° 34′,5	5,851	0,413
γ_1	st	— 30,43	20° 41′,5	5,386	0,431

TAB. 47.

Yttrium.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	st	— 10,84	25° 5′,7	6,464	0,393
α_2	s	— 11,2	24° 59′,7	6,440	0,394
β_1	st	— 15,12	24° 6′,9	6,227	0,401
R_1	—	— 43,80	—	—	—

TAB. 48.

Strontium.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	st	— 3,32	26° 49′,7	6,879	0,381
β_1	m	— 7,68	25° 49′,3	6,689	0,388
R_1	—	— 43,80	—	—	—

TAB. 49.

Rubidium.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
α_1	st	5,05	28° 45′,9	7,335	0,369
α_2	s	4,5	28° 38′,3	7,305	0,370
β_1	m	0,56	27° 43′,6	7,091	0,376
R_1	—	— 43,80	—	—	—

TAB. 50.

Brom.

Lage II.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{4-}$
α_1	st	25,43	33° 24′,1	8,391	0,345
α_2	s	24,8	33° 15′,7	8,360	0,346
β_1	st	20,44	32° 17′,1	8,141	0,351
R_1	—	— 43,80	—	—	—

TAB. 51.

Arsen.

Lage III.

Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda . 10$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} . 10^{-4}$
α_1	s	— 8,2	39° 31,′7	9,701	0,321
$(Cu\alpha_1)_2$	s	— 9,2	—	—	—
β_1	s	— 13,5	38° 18′,7	9,449	0,325

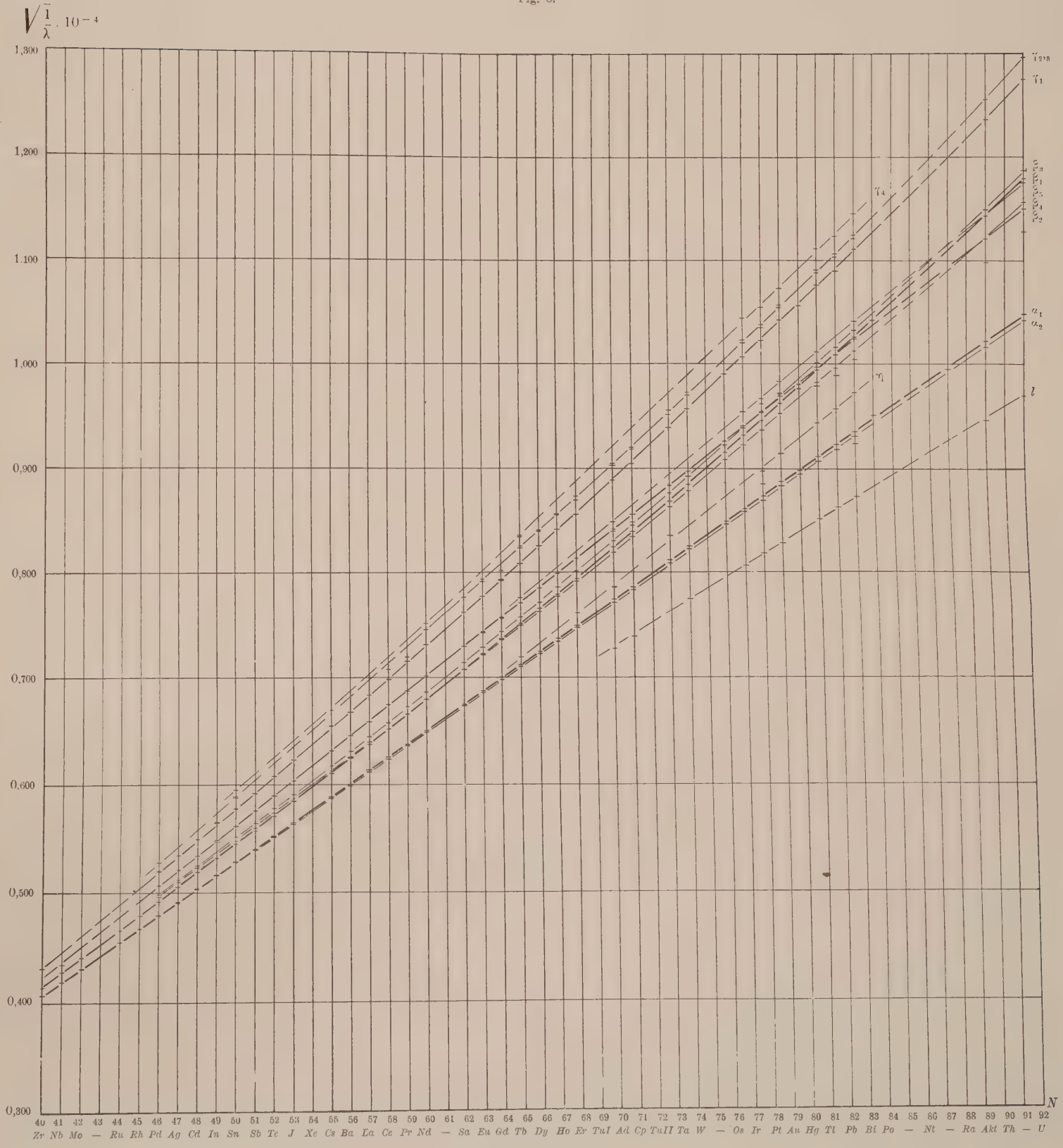
TAB. 52.

Zink.

Lage IV.

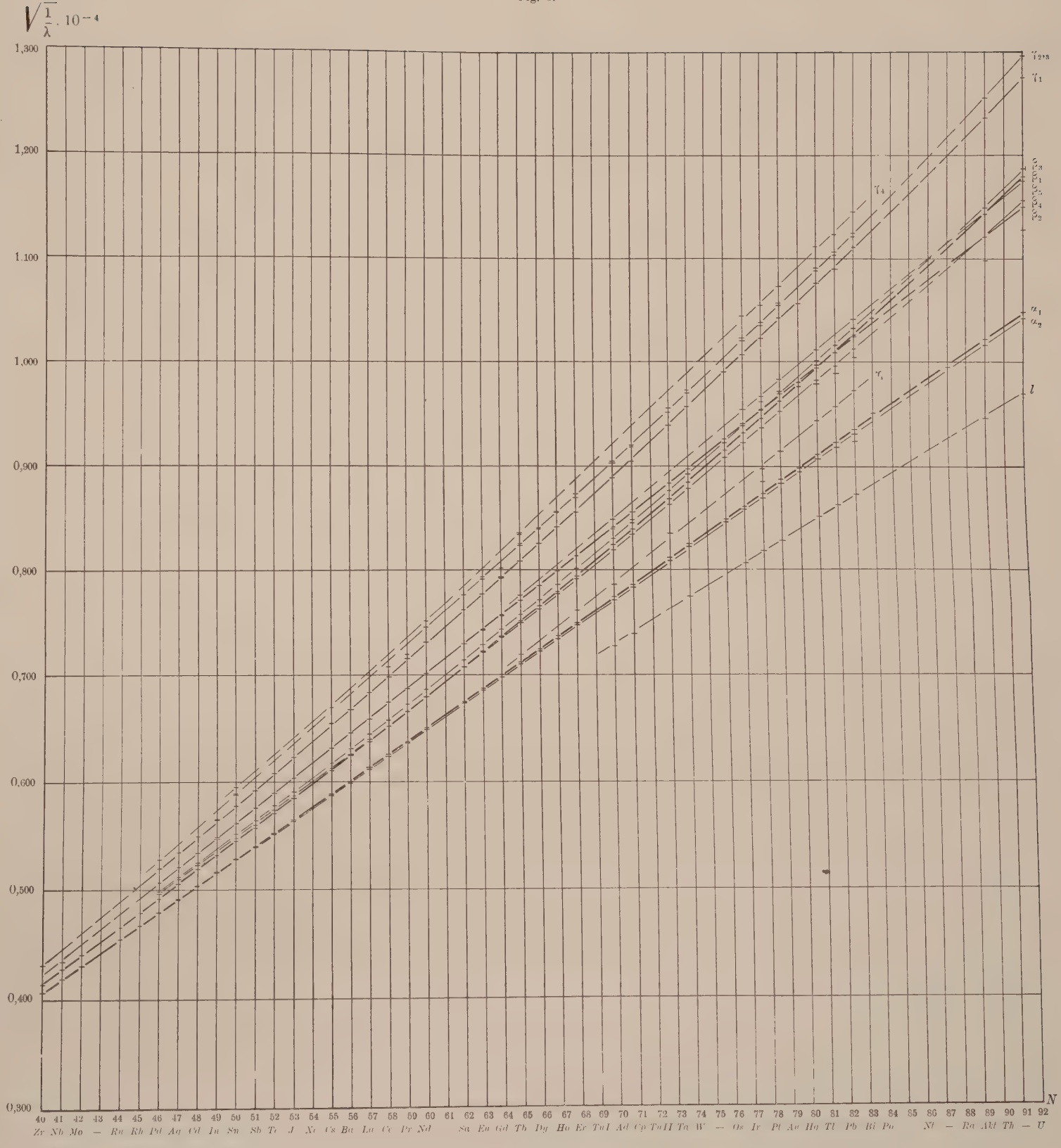
Linie	Intens.	a mm.	φ	$\lambda . 10^8$ cm.	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} . 10^{-4}$
α_1	s	— 5,2	54° 5′,7	12,346	0,285
R_2	—	— 41,8	—	—	—

Fig. 8.



$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
1,300
1,200
1.100
1,000
0,900
0,800
0,700
0,600
0,500
0,400
0,300
$\gamma_{2,3}$
γ_1
γ_4
η
α_1
α_2
l
N
40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92
Zr Nb Mo — Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te J Xe Cs Ba La Ce Pr Nd — Sa Eu Gd Tb Dy Ho Er TuI Ad Cp TuII Ta W — Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po — Nt — Ra Akt Th — U

Fig. 8.


$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
1,300
1,200
1,100
1,000
0,900
0,800
0,700
0,600
0,500
0,400
0,300
$\gamma_{2,3}$
γ_1
γ_4
α_1
α_2
γ_5
l
N
40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92
Zr Nb Mo — Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te J Xe Cs Ba La Ce Pr Nd Sa Eu Gd Tb Dy Ho Er Tu I Ad Cp To H Ta W — Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po Nt — Ra Ak Th — U

TAB. 53.

Zusammenstellung.

	λ . 10^8 cm.												
Elem.	l	α_2	α_1	η	β_4	β_1	β_2	β_3	β_5	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4
92 U	1,066	0,922	0,911	—	0,748	0,720	0,756	0,710	0,724	0,615	0,596		—
90 Th	1,117	0,969	0,957	—	0,797	0,766	0,797	0,758	0,766	0,654	0,635		—
88 Ra	—	—	1,010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
84 Po	—	—	1,109	—	—	0,920	—	—	—	—	—	—	—
83 Bi	1,317	1,153	1,144	1,059	0,977	0,950	0,954	0,937	0,923	0,810	0,794	0,790	0,762
82 Pb	1,348	1,186	1,175	1,091	1,008	0,983	0,983	0,968	—	0,842	0,820	0,816	0,792
81 Tl	1,385	1,215	1,205	1,124	1,036	1,012	1,006	0,998	0,977	0,864	0,844	0,840	0,808
80 Hg	—	1,251	1,240	—	—	1,049	1,042	—	—	0,896	—	—	—
79 Au	1,457	1,283	1,271	1,197	1,102	1,080	1,065	1,059	1,035	0,922	0,898	0,894	0,869
78 Pt	1,499	1,323	1,313	1,242	1,142	1,120	1,101	1,098	1,072	0,958	0,933	0,929	0,900
77 Ir	1,840	1,360	1,350	—	1,176	1,154	1,133	1,138	1,101	0,989	0,962	0,956	0,917
76 Os	—	1,398	1,388	—	1,214	1,194	1,167	1,176	—	1,021	—	—	—
74 W	1,672	1,481	1,471	—	1,296	1,278	1,241	1,258	—	1,095	1,064	1,058	—
73 Ta	—	1,529	1,519	1,435	1,343	1,324	1,282	1,304	—	1,136	1,102	1,097	—
71 Cp	1,834	1,629	1,619	—	1,437	1,421	1,368	1,399	—	1,224	1,188	1,183	—
70 Ad	1,892	1,681	1,670	1,618	1,490	1,474	1,414	1,451	1,422	1,267	1,228	1,223	—
68 Er	—	1,794	1,783	1,725	1,599	1,586	1,514	1,560	—	1,367	1,323	1,316	—
67 Ho	—	1,854	1,843	—	1,657	1,646	1,568	1,620	—	1,415	1,369	1,365	—
66 Dy	—	1,916	1,907	—	1,721	1,709	1,622	1,683	—	1,470	1,422	1,418	—
65 Tb	—	1,983	1,973	1,935	1,784	1,775	1,632	1,745	1,659	1,531	1,477	1,470	1,437
64 Gd	—	2,054	2,043	—	1,851	1,844	1,744	1,811	—	1,597	(1,562)	(1,558)	—
63 Eu	—	2,131	2,121	—	1,923	1,918	1,810	1,888	—	1,662	1,599	1,590	—
62 Sa	—	2,210	2,200	—	—	2,000	1,884	1,965	—	1,725	1,659		—
60 Nd	—	2,379	2,369	—	2,167	2,167	2,036	2,128	—	1,875	1,803	1,775	—
59 Pr	—	2,472	2,462	—	—	2,259	2,120	2,217	—	1,958	1,937	1,933	—
58 Ce	—	2,573	2,563	—	2,357	2,359	2,212	2,315	—	2,052	(2,003)		—
57 La	—	2,674	2,665	—	2,453	2,461	2,307	2,414	—	2,146	—	—	—
56 Ba	—	2,786	2,776	—	2,558	2,569	2,407	2,520	—	2,215	—	—	—
55 Cs	—	2,899	2,891	—	2,668	2,684	2,514	2,629	—	2,350	2,234		—
53 J	—	3,155	3,146	—	2,911	2,934	2,750	2,873	—	2,583	—	—	—
52 Te	—	3,299	3,290	—	3,041	3,074	2,881	3,007	—	2,712	—	—	—
51 Sb	—	3,443	3,434	—	3,184	3,222	3,021	3,149	—	2,849	2,782		—
50 Sn	—	3,604	3,594	—	3,337	3,381	3,172	3,300	—	2,999	2,903	2,889	2,831
49 In	—	3,774	3,766	—	—	3,550	3,335	—	—	3,160	—	—	—
48 Cd	—	3,959	3,949	—	3,676	3,733	3,514	3,639	—	3,331	—	—	—
47 Ag	—	4,156	4,146	—	3,862	3,929	3,698	3,825	—	3,515	—	—	—
46 Pd	—	4,374	4,363	—	4,071	4,142	3,903	4,030	—	3,720	3,597		—
45 Rh	—	[illegible]	4,596	—	—	4,372	—	—	—	—	—	—	—
44 Ru	—	4,853	4,845	—	—	4,630	—	—	—	—	—	—	—
42 Mo	—	5,410	5,403	—	—	5,175	—	—	—	—	—	—	—
41 Nb	—	5,731	5,724	—	—	5,493	5,317	—	—	—	—	—	—
40 Zr	—	—	6,083	—	—	5,851	—	—	—	5,386	—	—	—
39 Y	—	—	6,464	—	—	6,227	—	—	—	—	—	—	—
38 Sr	—	—	6,879	—	—	6,639	—	—	—	—	—	—	—
37 Rb	—	—	7,335	—	—	7,091		—	—	—	—	—	—
35 Br	—	—	8,391	—	—	8,141	—	—	—	—	—	—	—
33 As	—	—	9,701	—	—	9,449	—	—	—	—	—	—	—
30 Zn	—	—	12,346	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

IV.

1. Ergebnisse.

Von Moseley wurde zuerst gezeigt, dass eine Beziehung von der Form

$$\sqrt{\nu} = a(N - N_0)$$

für die $L\alpha$-Linien der Elemente Zirkon bis Gold gültig ist. Dass diese Relation auch für die Elemente Gold bis Uran besteht, ist von Siegbahn und mir[1] nachgewiesen worden. Durch die vorliegende Untersuchung ist ausserdem die untere Gültigkeitsgrenze der Formel bis Zink erstreckt worden.

In der graphischen Darstellung der Resultate (Uran bis Zirkon[2]) in Figur 9 sind die Wurzeln aus den Frequenzen gegen die Ordnungszahlen der Elemente aufgetragen. Wie hieraus hervorgeht, lassen sich die erhaltenen Werte (mit Einberechnung der Siegbahn'schen l-Serie) in 13 Linienserien einordnen, welche mit l, α_2, α_1, η, β_1—β_5 und γ_1—γ_4 bezeichnet sind[3]. Von diesen scheinen ausser den α_2- und α_1-Serien nur die β_2- und wahrscheinlich auch die l-, η- und β_5-Serien einer Moseley'schen Beziehung streng zu genügen. Sämtliche übrige Serien dagegen bilden nach oben schwach gekrümmte Kurven. Aus der Figur 9 ist weiter ersichtlich, dass die β-Kurven einander mehrmals schneiden und zwar β_1, β_2 bei *Pb*, β_1, β_3 und β_1, β_5 bei *Th*, β_2, β_3 bei *Pt—Ir*, und schliesslich β_1, β_4 bei etwa *Nd*. Das Zusammenfallen der beiden stärksten β-Linien geht deutlich aus dem Bleispektrogramm der Figur 1 der Tafel hervor. Bei den Aufnahmen mit dem Gypskristall wurde im allgemeinen in der Nähe der α_1-Linie eine mittelstarke Linie erhalten, die mit α_3 bezeichnet worden ist. Die grösste Wellenlänge, die ich gefunden habe, beträgt $13{,}246 \cdot 10^{-8}$ cm ($L\alpha_1$ des *Zn*). Zum Vergleich sei angeführt, dass von Moseley eine maximale Wellenlänge von $8{,}364 \cdot 10^{-8}$ cm ($K\alpha$ des *Al*) erreicht wurde.

[1] Phys. Zeitschr. **17**, 17, 1916.
Phil. Mag. **31**, 403, 1916.

[2] Die übrigen untersuchten Elemente (*Y*, *Rb*, *Sr*, *As* und *Zn*) wurden nicht mitgenommen, da bei denselben nur wenige Linien gefunden wurden. Die Resultate schliessen sich indessen den anderen sehr gut an.

[3] Ausser den 5 β-Serien sind in dem Bereiche *Tl* bis *Ur* noch Andeutungen einer sechsten, die unterhalb der übrigen gelegen ist.

Die genaue Gültigkeit der Moseley'schen Beziehung für die α-Linien lässt eine Entscheidung der Zahl der unbekannten Elemente bzw. der Reihenfolge der untersuchten Elemente zu. Die Resultate zeigen in Übereinstimmung mit den Systemen von Rydberg[1] und Fajans[2], dass zwischen *U* und *Th* nur ein, zwischen *Th* und *Ra* ein und zwischen *Ra* und *Po* drei Plätze frei sind[3]. Die erwähnten Systeme unterscheiden sich bekanntlich hauptsächlich dadurch, dass bei Rydberg zwei vor Wasserstoff liegende Elemente angenommen werden, wodurch die Ordnungszahlen zwei Einheiten grösser werden als bei Fajans. Da es bei der Auftragung der Resultate nur auf die Reihenfolge ankommt, könnte man beide Systeme ebenso gut benutzen. Ich habe indessen das letztere gewählt, da es bei früheren Untersuchungen auf diesem Gebiete immer angewandt worden ist. Der von Moseley aus der *K*-Reihe gezogene Schluss, dass die Elemente mit den Ordnungszahlen 75, 61 und 43 noch unbekannt sind, wird hier bestätigt.

Für die seltenen Erden wurde durch die von Siegbahn und mir[4] ausgeführte vorläufige Untersuchung eine Reihenfolge gefunden, welche mit der gewöhnlich angenommenen übereinstimmt. Moseley, der einige der seltenen Erden untersucht hat, gibt unter anderem 66 *Ho* an, was den Werten der angeführten Wellenlängen zufolge 66 *Dy* sein muss. Während bei der Mehrzahl der Elemente die Atomgewichte den Ordnungszahlen parallel gehen, bilden *J* und *Te* (ebensowie *Ni* und *Co*) eine Ausnahme. Die Reihenfolge *Te*—*J* wurde zuerst bei der *K*-Reihe von Siegbahn[5] nachgewiesen. Diese Ordnung der beiden Elemente wird auch hier bei der *L*-Reihe gefunden.

TAB. 54.

Röntgenspektrum des Platins.

Moseley und Darwin	Siegbahn und Friman
13° 31′	13° 29′,3 (α_1)
11° 28′	11° 28′,6 (β_1)
11° 17′	11° 17′,2 (β_2)
9° 47′	9° 48′,0 (γ_1)
9° 29′	9° 30′,0 (γ_3)

Von Interesse ist, die hier erhaltenen Ergebnisse mit früheren Untersuchungen zusammenzustellen. Zunächst seien die Platinwerte mit den von Moseley und Darwin nach der elektrischen Methode gefundenen verglichen (Tab. 54). Wie aus der Tabelle hervorgeht ist die Übereinstimmung ganz befriedigend. Ein Vergleich mit den Moseley'schen Daten (S. 6) zeigt, dass die von ihm mit β, φ und γ be-

[1] Lunds Univ. Årsskr. Afd. 2, Bd. 9, Nr. 18, 1913.
[2] Zusammenfassender Bericht: Phys. Zeitschr. **16**, 456, 1915.
[3] Diese sind nach Fajans teilweise von radioaktiven Stoffen besetzt.
[4] Phys. Zeitschr. 1916.
[5] Verh. D. Phys. Ges. **18**, 39, 1916.

zeichneten Linien mit den hier als β_1, β_3 und β_2 angegebenen identisch sind. Seine Werte sind indessen durchgehend etwas niedriger als die hier angeführten. Dies beruht wahrscheinlich auf einem Fehler bei der Bestimmung der Gitterkonstante des von ihm benutzten Kristalles aus Ferrocyankalium. Eine Stütze hierfür bietet die gute Übereinstimmung unsrer Wolframwerte mit den von DE BROGLIE und neulich von GORTON gefundenen. Diese sind in der Tabelle 55 zusammengestellt. Während die Differenzen dieser Werte innerhalb den Fehlergrenzen liegen, zeigt der MOSELEY'sche Wert für die Wellenlänge der von ihm aufgenommenen α-Linie eine Abweichung von dem unsrigen um 1 %. Von DE BROGLIE sind auch die Spektra des Golds und des Platins untersucht worden. Die Winkelwerte der zwei

TAB. 55.

Röntgenspektrum des Wolframs.

Siegbahn u. Friman		De Broglie		Gorton	
Refl. winkel	Intens.	Refl. winkel	Intens.	Refl. winkel	Intens.
15° 15′,4	3	—	—	15° 12′,6	s
15° 9′,3	10	15° 9′	st	15° 6′,0	st
13° 19′,1	3	—	—	13° 16′,8	s
—	—	—	—	13° 10′,2	ss
13° 7′,3	8	13° 8′	st	13° 6′,6	st
12° 55′,3	3	12° 55′	s	12° 52′,8	s
12° 44′,3	6	12° 44′	st	12° 42′,0	st
11° 13′,3	3	11° 14′	st	11° 12′,6	st
10° 53′,6	1	—	—	—	—
10° 50′,1	1	—	—	10° 49′,8	m
—	—	—	—	10° 28′,8	s

von ihm aufgenommenen Goldlinien stimmen mit den unsrigen sehr gut überein, dagegen scheinen seine Angaben für Platin weniger genau zu sein (Unterschied 2 %).

Von RUTHERFORD und ANDRADE[1] ist eine sehr interessante Aufnahme von dem γ-Strahlspektrum des Radium *B* mit Steinsalzkristall nach der photographischen Methode ausgeführt worden. Sie haben auch gezeigt, dass Blei, dessen charakteristische Strahlung von den β-Strahlen eines Emanationsröhres erregt wurde, zwei messbare Linien gab, welche mit den zwei stärksten Linien des Radium *B* übereinstimmten. In dieser Weise wurde die Isotopi des Radium *B* und des Bleis bestätigt. Da das Spektrogramm des Radium *B* eine grosse Zahl von Linien enthält, ist ein Vergleich mit den hier gefundenen Bleilinien von Interesse. Ein solcher findet sich in der Tabelle 56.

[1] Phil. Mag. (6) **27**, 854, 1914.

TAB. 56.

Radium B γ-Strahlspektrum		Blei Röntgenspektrum	
Refl. winkel	Intens.	Refl. winkel	Intens.
8° 6′	m	8° 5′,3	0
8° 16′	m	8° 20′,3	1
—	—	8° 22′,8	1
8° 34′	m	8° 36′,3	3
8° 43′	m	—	—
9° 23′	s	—	—
9° 45′	m	9° 44′,5	2
—	—	9° 54′,1	2
10° 3′	st	10° 3′,6	9
10° 18′	m	10° 19′,1	2
10° 32′	m	10° 28′,5	2
10° 48′	s	—	—
11° 0′	s	—	—
—	—	11° 10′,5	0
11° 17′	s	—	—
11° 42′	m	—	—
12° 3′	st	12° 3′,0	10
—	—	12° 9′,8	3
12° 16′	m	—	—

2. Vergleich mit der Theorie.

Neulich ist von Sommerfeld [1] eine intressante Theorie der Wasserstoff- und Wasserstoffähnlichen Linien aufgestellt worden, welche eine Modifikation der Bohrschen Theorie darstellt. Nach der Theorie von Sommerfeld, die sich auch für die Hochfrequenzspektra anwendbar erwiesen hat, gilt angenähert für die Schwingungsdifferenz $\Delta\nu$ einer Liniendublette:

$$\Delta\nu = (N-1)^4\,\Delta\nu_H,$$

wo N die Ordnungszahl des Elementes ist und $\Delta\nu_H$ die konstante Schwingungsdifferenz der Wasserstoffdublette bedeutet, welche dem Term $\frac{1}{2^2}$ der Balmerschen Serie entspricht. Durch Zusammenstellung dieser Formel mit der Moseleyschen ergibt sich nun leicht, dass für reale Dubletten die Wellenlängendifferenz $\Delta\lambda$ appr. konstant sein muss. Dieser Schluss hat Sommerfeld [2] auch bei unsren Werten für Uran bis Tantal bestätigt. Es hat sich hierbei herausgestellt, dass folgende Linien zusammengehören: $l-\eta_1$, $\alpha_2-\beta_1$, $\beta_2-\gamma_1$, $\beta_4-\beta_3$ und $\beta_5-\gamma_2$.

Die Resultate einer Prüfung der Sommerfeldschen Beziehung für sämtliche untersuchte Elemente sind in der Tabelle 57 angegeben. Wie hieraus hervorgeht, ist die Wellenlängendifferenz nur im Falle $\beta_4-\beta_3$ im ganzen Bereich angenähert

[1] Sitzber. Bayer. Akad., math.-phys. Kl. 425 u. 459, 1915.
[2] Ann. d. Phys. 1916.

konstant, während $\Delta\lambda$ bei den übrigen Dubletten einen deutlichen Gang zeigt. Dieser Gang lässt sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass die Sommerfeldsche Formel nur in erster Annäherung richtig ist, da bei der Herleitung derselben ein Korrektionsglied zweiter Ordnung vermachlässigt worden ist. Ferner hat ju auch die Moseleysche Formel keine allgemeine Gültigkeit.

Ein Zusammenhang zwichen der L- und der K-Reihe ist zuerst von Kossel [1] aus der Bohrschen Theorie hergeleitet worden. Diese Beziehung, welche die Form

$$\nu K_{\beta} = \nu K_{\alpha} + \nu L_{\alpha}$$

TAB. 57.

Wellenlängendifferenzen der Dubletten.

Element	$l-\gamma_1$	$\alpha_2-\beta_1$	$\beta_2-\gamma_1$	$\beta_4-\beta_3$	$\beta_5-\gamma_2$
92 U	—	0,202	0,141	0,038	0,128
90 Th	—	0,203	0,143	0,039	0,131
83 Bi	0,258	0,203	0,144	0,040	0,129
82 Pb	0,257	0,203	0,141	0,040	—
81 Tl	0,261	0,203	0,142	0,038	0,133
80 Hg	—	0,202	0,146	—	—
79 Au	0,260	0,203	0,143	0,043	0,137
78 Pt	0,257	0,203	0,143	0,014	0,139
77 Ir	—	0,206	0,141	0,038	0,139
76 Os	—	0,204	0,146	0,033	—
74 W	—	0,203	0,146	0,038	—
73 Ta	—	0,205	0,146	0,039	—
71 Cp	—	0,208	0,144	0,038	—
70 Ad	0,274	0,207	0,147	0,039	0,194
68 Er	—	0,208	0,147	0,039	—
67 Ho	—	0,208	0,153	0,037	—
66 Dy	—	0,207	0,152	0,038	—
65 Tb	—	0,208	0,151	0,039	0,182
64 Gd	—	0,210	0,147	0,040	—
63 Eu	—	0,213	0,148	0,035	—
62 Sa	—	0,210	0,159	—	—
60 Nd	—	0,212	0,161	0,039	—
59 Pr	—	0,213	0,162	—	—
58 Ce	—	0,214	0,160	0,042	—
57 La	—	0,213	0,161	0,039	—
56 Ba	—	0,217	0,162	0,038	—
55 Cs	—	0,215	0,164	0,039	—
53 J	—	0,221	0,167	0,038	—
52 Te	—	0,225	0,169	0,037	—
51 Sb	—	0,221	0,172	0,035	—
50 Sn	—	0,223	0,173	0,037	—
49 In	—	0,224	0,175	—	—
48 Cd	—	0,226	0,183	0,037	—
47 Ag	—	0,227	0,183	0,037	—
46 Pd	—	0,232	0,183	0,041	—
45 Rh	—	—	—	—	—
44 Ru	—	0,223	—	—	—
42 Mo	—	0,235	—	—	—
41 Nb	—	0,238	—	—	—

[1] Verh. D. Phys. Ges. **16**, 898 u. 953, 1914.

hat, ist von MALMER [1] geprüft worden. Dieser fand, dass die Frequenzen der β_1-, α_2- und der Moseleyschen $L\alpha$-Linien der Formel recht gut genügen. Neulich hat SIEGBAHN [2] die Vermutung ausgesprochen, dass folgende Beziehungen zwischen den Frequenzen der *K*- und *L*-Reihen gelten:

$$\nu_{K\beta_1} = \nu_{K\alpha_2} + \nu_{L\alpha_1} = \nu_{K\alpha_1} + \nu_{L\alpha_2};$$

$$\nu_{K\beta_2} = \nu_{K\alpha_2} + \nu_{L\beta_2} = \nu_{K\alpha_1} + \nu_{L\beta_1}.$$

Eine Prüfung dieser Beziehungen auf die drei Elemente (*Ag*, *In*, *Sb*), bei denen sämtliche vier Linien jeder Reihe gegeben sind, ist in der Tabelle 58 dargestellt. Wie hieraus hervorgeht, ist die Übereinstimmung mit Ausnahme für $K\alpha_1 + L\alpha_2$ verhältnismässig gut.

TAB. 58.

Element	$\nu_{K\beta_1}$	$\nu_{K\alpha_2} + \nu_{L\alpha_1}$	$\nu_{K\alpha_1} + \nu_{L\alpha_2}$	$\nu_{K\beta_2}$	$\nu_{K\alpha_2} + \nu_{L\beta_2}$	$\nu_{K\alpha_1} + \nu_{L\beta_1}$
Silber	1,996	2,003	2,019	2,038	2,032	2,033
Indium	2,208	2,208	2,226	2,273	2,242	2,243
Antimon	2,404	2,410	2,427	2,451	2,450	2,447

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. J. R. RYDBERG, der mich in das wissenschaftliche Studium der Physik eingeführt hat und meinen weiteren Studien mit lebhafter Anteilnahme gefolgt ist, danke ich herzlich für die Freundlichkeit und das Entgegenkommen, dass er mir immer gezeigt hat.

Ebenso danke ich verbindlichst Herrn Geheimrat P. LENARD für die lehrreiche Zeit, wo ich in dem von ihm geleiteten Radiologischen Institut zu Heidelberg arbeiten durfte.

Mit Herrn Privatdozent Dr. M. SIEGBAHN, zugleich meinem Lehrer und Freund, habe ich das Vergnügen gehabt eine Zeitlang zusammenzuarbeiten. Für seine freundliche Ratschläge, ebenso für das grosse Interesse, dass er meinen späteren, von ihm angeregten Untersuchungen entgegengebracht hat, möchte ich ihm meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Bei den Rechnungen und bei dem Korrekturlesen hat mir Herr Stud. rer. nat. J. TANDBERG freundlichst Hilfe geleistet.

[1] J. MALMER, l. c.

[2] Nature, Febr. 17, 1916.

V.

Zusammenfassung.

1. Die Arbeit enthält eine möglichst vollständige Untersuchung der Hochfrequenzspektra (*L*-Reihe) der Elemente Uran bis Zink (48 Stoffe).

2. Die Versuche sind nach der photographischen Methode teils mit einem Röntgenspektrometer teils mit einem Vakuumspektrographen ausgeführt worden. Die Konstruktion dieser Apparate, welche nach dem Prinzip der Fokusierung und mit beweglichem Kristall eingerichtet sind, wird näher beschrieben.

3. Das Röntgenrohr war mit einer ausnehmbaren Antikathode versehen, auf welcher die Stoffe nach einer einfachen Methode angebracht wurden.

4. Es ist mit den beschriebenen Versuchsanordnungen, wobei teils Steinsalz teils Gips als Reflektor benutzt wurden, gelungen sehr scharfe Spektrogramme aufzunehmen.

5. Die Messungsresultate haben im allgemeinen eine Genauigkeit von etwa 0,3 %.

6. Die graphische Darstellung der Werte nach Moseley (Wurzel aus Frequenz gegen Ordnungszahl) hat ergeben, dass mit Einberechnung der Siegbahnschen *l*-Linie wenigstens 13 Linienserien vorhanden sind. Von diesen genügen höchstens 6 streng der Moseleyschen Beziehung.

7. Die Messungsresultate sind mit früheren Daten verglichen worden.

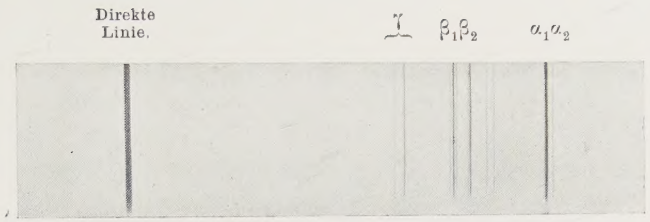
8. Ein Vergleich der hier gefundenen Resultate mit einer von Sommerfeld entwickelten Theorie hat seine Behauptung bestätigt, dass in der *L*-Reihe mehrere Dubletten (wenigstens 5) vorkommen.

9. Es wurde eine Prüfung einiger von Siegbahn aufgestellten Beziehungen zwischen den *K*- und *L*-Reihen ausgeführt.

Inhaltsverzeichnis.

I. Geschichtliches 3
II. 1. Prinzip der Methode 8
2. Beschreibung der Apparatur 9
a. Röntgenspektrometer 9
b. Vakuumspektrograph 11
c. Röntgenrohr und übrige Apparate 14
3. Untersuchte Substanzen und deren Anbringung an der Antikathode 17
4. Ausführung der Versuche 18
III. Messungsresultate 22
IV. 1. Ergebnisse 42
2. Vergleich mit der Theorie 45
V. Zusammenfassung 48

TAFEL.

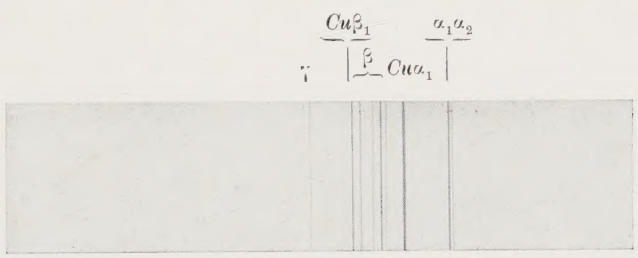


Uran.

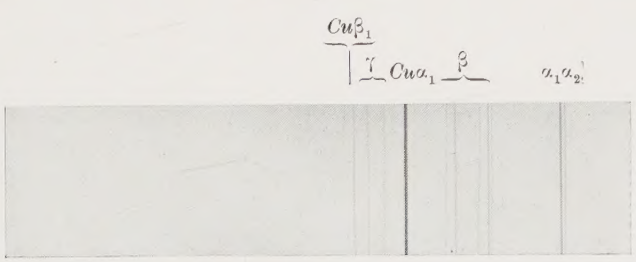
Blei.

Wolfram.

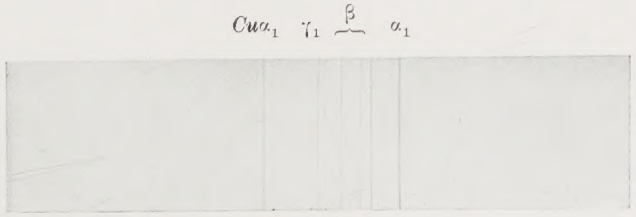
Fig. 1.



Aldebaranium.



Terbium.



Silber II.

Fig. 2.